

Aus der Medizinischen Poliklinik der Universität Würzburg
Direktor: Professor Dr. med. H. Franke

Sauerstoffbestimmung mit Hilfe verschiedener Meßmethoden in verschiedenen Hämoglobinbereichen

INAUGURAL-DISSERTATION

verfaßt und der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde

vorgelegt von
Faisal Al-Naqib
aus
Samarra / Irak

LANE LIBRARY. STANFORD UNIVERSITY

Würzburg 1959



Aus der Medizinischen Poliklinik der Universität Würzburg
Direktor: Professor Dr. med. H. Franke

Sauerstoffbestimmung mit Hilfe verschiedener Meßmethoden in verschiedenen Hämoglobinbereichen

INAUGURAL-DISSERTATION

verfaßt und der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde

vorgelegt von
Faisal Al-Naqib
aus
Samarra / Irak

Würzburg 1959

Referent: Professor Dr. med. H. Franke

Tag der Promotion:

20. 2. 59

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Universität Würzburg

Meiner lieben Frau

INHALTSANGABE

1. Einleitung	5
2. Geschichtlicher Rückblick	7
3. Klinische Bedeutung	8
4. Methodik der eigenen Untersuchungen	
I. Die spektrophotometrische Methode	13
II. Die gasanalytische Methode	19
III. Die Geräte	34
IV. Beschreibung der Ergebnisse	35
5. Zusammenfassende Besprechung	42
6. Literaturangaben	44

EINLEITUNG

Der Sauerstoff ist der wichtigste Teil der Luft unserer Erde. Ohne ihn ist das Leben auf unserem Planeten nicht möglich. Wir nehmen in unsere Lungen vom ersten bis zum letzten Atemzug Sauerstoff auf. Wir ersticken, wenn wir keinen Sauerstoff zum Atmen haben, aber auch, wenn der Sauerstoff wohl in der Luft vorhanden ist, aber durch irgendeine Krankheit die Schranke der Lunge ins Blut nicht passieren kann. Denn ohne Sauerstoff sind die biologischen Prozesse, der Stoffwechsel, und schließlich die Ernährung unseres Körpers stillgelegt. Ist die Lunge gesund, aber besteht ein bestimmter Herzfehler oder eine Gefäßerkrankung, so ist der Sauerstoffgehalt unseres Blutes und dessen Verteilung in die verschiedenen Organe und Gewebe unseres Körpers gestört oder mit dem Leben unvereinbar geworden. In anderen Fällen ist der O_2 -Gehalt der Luft normal und es besteht weder ein bedrohlicher Herzfehler noch eine bestimmte Lungenerkrankung, aber der Haemoglobingehalt des Blutes ist mehr oder weniger stark vermindert.

Es herrschen also physicochemische Prozesse und Gesetze, sei es durch den O_2 -Partialdruck der Luft, die Temperatur der Luft oder des Körpers sowie durch die Bestandteile des Blutes und dessen Beschaffenheit.

Seit den Entdeckungen des französischen Chemikers LAVOISIER ist die Bedeutung des O_2 in der Medizin in ständiger Entwicklung. Die Tatsache, daß der O_2 für das Leben unentbehrlich ist, führte zu einem tiefgreifenden Studium der Blutchemie. Es ist selbstverständlich, daß die technische Entwicklung der dafür notwendigen Apparatur das Studium der Blutchemie in ihren verschiedenen Phasen ganz intim begleitet. Die Methoden der O_2 -Bestimmung des Blutes sind heute in der Medizin unter dem Namen „die Oxymetrie“ bekannt.

Die Apparaturen und deren Prinzipien sind sehr mannigfaltig geworden. Diese Methoden und deren Apparaturen sind für die heutige Herz- und Kreislau fforschung, insbesondere für den Herzkatheterismus, sehr notwendig. Mit Hilfe der Oxymetrie und deren Apparaturen können wir den O_2 -Gehalt des Blutes entweder gasanalytisch oder photoelektrometrisch bestimmen.

Bei der photoelektrometrischen Methode können wir direkt, also blutig und indirekt, nicht blutig, operieren. Ich habe für diese Arbeit von den

blutigen Methoden der Photoelektrometrie die Spektrophotometrie gewählt. Mit Hilfe des Universal-Oxymeters EM 45a (ATLAS-WERKE A. G. BREMEN) spektrophotometrisch und des Gerätes nach HALDANE-COURTICE-DOUGLAS gasanalytisch, habe ich den Haemoglobingehalt sowie die O_2 -Sättigung und dessen Volumenprozent arteriell und venös bestimmt. Ich habe von der Anaemie bis zur Polycythaemie mit und ohne Hilfe des Herzkatheters den Hb-Wert, O_2 -Sättigung, O_2 -Volumenprozent die Differenz des arteriellen-venösen O_2 -Gehaltes mit jedem der genannten Apparate bestimmt. Die verschiedenen Werte der beiden Apparate habe ich miteinander verglichen und die Differenzen der einzelnen Werte aufgezeichnet.

GESCHICHTLICHER RÜCKBLICK

Die geschichtliche Entwicklung der Erforschung der Lungenfunktion und deren Pathophysiologie ist sehr aufschlußreich. Schon 1800 bemühte sich DAVY die Lungenfunktion zu klären und entwickelte die Wasserstoffmethode zur Bestimmung der Residualluft. HUTCHINSON hatte 1846 das Spirometer erfunden und definierte die Vitalkapazität. 1878 wies PAUL BERT auf die Bedeutung der Gasspannung für die Atemphysiologie hin. ZUNTZ und LOEWY interessierten sich für die Atemphysiologie, insbesondere für den Totraum.

Anfang des 20. Jh. nahmen HALDANE und BOHR die Sekretionstheorie der Sauerstoffaufnahme durch die Lunge an. KROGH und BARCROFT vertraten die Diffusionstheorie des Sauerstoffs. 1912 führte HERTER die Arterienpunktion ein, die für die Prüfung der Lungenfunktion sehr wichtig ist.

VAN SLYKE und Mitarbeiter studierten das Säure-Basen-Gleichgewicht. HENDERSON versuchte die physico-chemische Gesetzmäßigkeit der Atemgase mathematisch und nomographisch darzustellen. STADIE entschied sich für das Studium der Cyanose. BRAUER, KNIPPING, HERMANNSEN und ANTHONY führten die Lungenfunktionsprüfung als klinische Untersuchungsmethode ein. MEAKINS und DAVIS sowie DAUTREBANDE analysierten die Alveolarluft.

1942–1946 haben ROSSIER und MEAN sowie RILEY und Mitarbeiter die „Alveolarformel“ dargestellt.

FORSSMANN unternahm den heroischen Versuch und führte an sich selbst die Herzkatheterisierung durch.

Erst im Jahre 1941 wurde der Herzkatheterismus in Europa als Routineuntersuchung in die Klinik eingeführt und damit wurde die Untersuchung des Gasaustausches der O_2 -Sättigung des arteriellen und venösen Blutes kombiniert. Heute ist die Oxymetrie und der Herzkatheterismus voneinander untrennbar geworden und für jede moderne Klinik für Herz- und Kreislaufuntersuchungen unentbehrlich.

KLINISCHE BEDEUTUNG

Von einer großen klinischen Bedeutung ist die Bestimmung des O_2 -Gehaltes des Blutes. Für diesen Zweck stehen verschiedene Methoden zur Verfügung.

Die spiographischen Methoden dienen im wesentlichen zur O_2 -Defizitbestimmung. Die klinische Einführung der Arterienpunktion im Jahre 1912 hat die Oxymetrie als sehr nützliche Methode gezeigt. Die O_2 -Kapazität des Blutes, die bei der Oxymetrie leicht feststellbar ist, erlaubt die Beurteilung des Vermögens des O_2 -Transportes. Dadurch kann man den Gasaustausch des Organismus und seine verschiedenen Wechselbeziehungen am besten verstehen. Die direkte Beziehung zwischen der O_2 -Kapazität des Blutes und dessen Hb-Gehalt kann man durch die Oxymetrie feststellen. Das gesamte Haemoglobin des Blutes ist jedoch am O_2 -Transport nicht aktiv beteiligt. Dabei spielen Druck und Volumenverhältnisse sowie die Temperatur der Atemluft und die des Körpers eine wesentliche Rolle. Die Bindung des O_2 im Blut erfolgt nicht allein an das Haemoglobin, sondern ein gewisser kleiner Teil davon ist im Plasma gelöst, und seine Löslichkeit stellt eine Linienfunktion des Partialdruckes dar. Dieser kleine Teil des O_2 ist in der oxymetrischen Bestimmung der O_2 -Kapazität nicht mit einbezogen.

Die Milieuveränderungen des Blutes, z. B. bei der Acidose und bei der Alkalose bewirken eine veränderte O_2 -Bindungsfähigkeit des Haemoglobins. Die O_2 -Dissoziationskurve ist von der Temperatur abhängig. Bei jeder Temperaturerhöhung (Fieber) ist sie nach rechts verschoben und bei jeder Temperaturerniedrigung (Erfrierung) ist sie nach links verschoben. Es sei auch auf die therapeutische Bedeutung der Linksverschiebung der O_2 -Dissoziationskurve bei der Vergiftung mit phenacetinhaltigen Analgetica hingewiesen. Bei der Höhenatmung, wo die O_2 -Spannung niedriger als sonst liegt, wird auch die O_2 -Sättigung niedriger. Diese O_2 -Untersättigung tritt in größeren Höhen auch in der Ruhe auf.

Bei der Anaemie handelt es sich um eine reduzierte Kapazität des O_2 -Transportes im Blut. Bei jeder Anaemie ist die oxymetrische Bestimmung der O_2 -Sättigung sehr nützlich. Diese Untersuchungen haben gezeigt, daß sogar bei schwerer Hypoxaemie keine Cyanose aufzutreten braucht. Diese tritt bei der geringen Hb-Menge auch dann nicht auf, wenn das venöse Blut selbst fast entsättigt ist. Hingegen tritt immer bei der Polycythaemie eine Cyanose auf, selbst wenn das arterielle Blut mit O_2 normal gesättigt ist und keine periphere Stase besteht.

Mit Hilfe des Herzkatheters haben die oxymetrischen Untersuchungen gezeigt, daß es z. B. bei der Mitralstenose nach geringer körperlicher Belastung zu einem Absinken der arteriellen O_2 -Sättigung trotz einer erhöhten Lungenventilation kommt. Oxymetrisch findet man beim offenen Ductus arteriosus Botalli, wenn der Druck der Arterie Pulmonalis den der Aorta überwiegt, einen niedrigeren O_2 -Sättigungswert in der Arterie Femoralis als in der rechten Arterie Brachialis. Für die Verhältnisse der Rechtsverlagerung der Aorta bei Transposition der Gefäße insbesondere wenn sie mit einem offenen Ductus Arteriosus Botalli kombiniert sind, ist der O_2 -Sättigungswert sehr maßgebend. Das ist auch der Fall, wenn der offene Ductus Arteriosus Botalli mit einer Aortenisthmusstenose kombiniert ist. Die O_2 -Sättigung sinkt auch bei der kardialen Linksinsuffizienz, besonders bei Arbeitsbelastung ab. In diesem Fall ist die Oxymetrie als Hilfsmittel für die Diagnosestellung der kardialen Insuffizienz unerläßlich.

Das Herzminutenvolumen (HMV) kann man nach dem Fick'schen Prinzip berechnen:

$$\text{HMV (cm}^3/\text{min)} = \frac{\text{O}_2\text{-Aufnahme (0}^\circ\text{C, 760 mm Hg)} \cdot 100}{\text{Arterien - venösen - O}_2\text{-Differenz Vol.}\%$$

Eine Vergrößerung der venösen Zumischung, die normalerweise 2-6 % des HMV beträgt, tritt bei der ungleichen Ventilation der verschiedenen Lungengewebe auf.

Beim Emphysem kann die venöse Zumischung bis 20 % des HMV betragen. Das Blut des schlecht ventilierten Alveolargebietes ist folglich ungenügend mit O_2 aufgesättigt und dadurch stellt sich eine partielle Insuffizienz infolge der Zunahme des ungesättigten arteriellen Blutes ein. Ähnlich liegen die Verhältnisse bei Asthma bronchiale und bei der chronischen spastischen Bronchitis, besonders bei jahrelang leidenden Patienten, da das funktionelle Bild durch das Dehnungsemphysem stark beeinflußt wird.

Für die Indikationsstellung der Thorax-Chirurgie sind die Oxymetrie und der Herzkatheterismus in der heutigen modernen Medizin unerläßlich. Die Indikationsstellung für einen chirurgischen Eingriff an der Lunge, in schweren oder Grenzfällen der Tuberkulose, setzt die Erfassung der noch funktionstüchtigen Lungengewebe voraus.

Für diesen Zweck und für die Indikationsstellung der chirurgischen Eingriffe bei den isolierten und kombinierten Herzvitiern wird die Oxymetrie und der Herzkatheterismus mit und ohne Belastung des Patienten durchgeführt. Die verschiedenen O_2 -Sättigungs- und Blutdruckwerte, welche bei der Oxymetrie und beim Herzkatheterismus gefunden werden, ermöglichen dem Untersucher die Fragen des Chirurgen weitgehend und ziemlich exakt beantworten zu können.

HECKMAN hat sich für die postoperative Anoxie interessiert. Er untersuchte 53 Patienten, welche verschiedene Lungenoperationen durchgemacht hatten, und stellte folgendes fest:

1. Die Änderung der Atmung nach der Operation und Narkose hat einen kleinen Einfluß auf die O_2 -Sättigung des Blutes, wenn das Blut in wenigen Stunden nach der Operation untersucht wird.
2. Das ausgedehnte Trauma, welches das Lungengewebe besonders bei Lobectomy durchmacht, ist meistens die Ursache des postoperativen Absinkens der O_2 -Sättigung des arteriellen Blutes.
3. Die postoperative Pneumonie ist immer von einem Absinken der O_2 -Sättigung begleitet. Die Pneumonie ist die Ursache der arteriellen O_2 -Untersättigung besonders nach abdominalen Operationen.
4. Eine arterielle O_2 -Untersättigung gehört in der Regel nach intrathorakaler Operation zur postoperativen Pneumonie.
5. Bei Pneumonektomie und Lobectomy, sehr selten bei extrapulmonalen Operationen, resultiert durch Überfüllung der Lungenkapillare sehr leicht ein Lungenödem. Dieses Ödem hat die O_2 -Untersättigung des arteriellen Blutes zur Folge.

Für die Überfüllung der Lungenkapillare macht HECKMAN zwei Faktoren verantwortlich, nämlich:

- a) Reduktion des Lungengefäßbettes mit Minderung der Lungengewebsfunktion.
- b) Infusion von größeren Blut- oder anderen Flüssigkeitsmengen.

BOERE hat die O_2 -Sättigung des Blutes während der Narkose an verschiedenen Patienten untersucht. Einige seiner interessanten Befunde seien hier kurz berichtet:

1. Die Verabreichung von Pentothal ohne Inhalation von Gasgemisch mit hoher O_2 -Konzentration ist meist die Ursache eines beachtlichen Absinkens der O_2 -Sättigung des Blutes.
2. Absaugen des Trachealrohres bewirkt für kurze Zeit ein Absinken der O_2 -Sättigung.
3. Eine Unterbrechung der Operation für kurze Zeit beim kritischen Absinken der O_2 -Sättigung kann sehr notwendig sein.
4. Unterbindung einer der beiden Pulmonalarterien verursacht ein Absinken der O_2 -Sättigung.

5. Bei Ligatur eines weiten persistierten Ductus Arteriosus Botalli sinkt manchmal die O_2 -Sättigung des Blutes ab.

ZIJLSTRA kontrollierte die O_2 -Sättigung auch während der Narkose bei verschiedenen Operationen. Einige seiner Beobachtungen sind:

1. 18jähriger Patient wurde wegen congenitaler Mitralstenose commissurotomiert.

Endotracheale Narkose: Pentothal, Stickstoffoxydul 0,25 % O_2 , Curare.

Während der Commissurotomie ist die O_2 -Sättigung abgesunken, aber sobald der Chirurg seinen Finger aus der Mitralklappe entfernte, stieg die O_2 -Sättigung an. Post operationem erreichte die O_2 -Sättigung einen etwas höheren Wert als diejenige vor der Operation.

2. 45jähriger Patient wurde wegen einem in der rechten Lunge sitzenden Carzinom pneumonectomiert.

Endotracheale Narkose: Pentothal, Stickstoffoxydul, 25 % O_2 , Curare.

Bei Öffnung des Thorax und Untersuchung der Lunge ist die O_2 -Sättigung abgesunken. Nach Abschließung des Thorax stieg die O_2 -Sättigung von 85 % auf 93 % an.

3. 22jähriger Patient, cyanotisch und arbeitsunfähig. Wegen Fallot'scher Tetralogie wurde seine Pulmonalstenose gesprengt.

Intubationsnarkose: Pentothal, Curare.

Direkt nach der Sprengung der Stenose stieg die O_2 -Sättigung um 20 % mehr als der vorherige Wert an.

An Patienten verschiedener Altersgruppen haben ZIJLSTRA und DRIFT die Funktion der einzelnen Lungen mit einem doppelumigen Katheter und Gasmisch geprüft. Von diesen interessanten Fällen seien hier

3 Tbc-Fälle kurz gezeigt:

1. 47jähriger Patient leidet an einem käsigen Tuberkulose-Herd im Oberlappen der rechten Lunge und an einem manifesten Emphysem.

a) O_2 -Sättigung in gewöhnlicher Luft in der Ruhe = 91,5 %.

b) In der Ruhe völlige O_2 -Sättigung bei O_2 -Inhalation.

c) Nach Arbeitsbelastung starkes Absinken der O_2 -Sättigung und Dyspnoe trotz O_2 -Inhalation.

2. 37jähriger Patient leidet an cavernöser Tuberkulose des Oberlappens der linken Lunge.

a) Bei der Ventilation der linken Lunge mit Stickstoff und der rechten mit O_2 ist kein Absinken der O_2 -Sättigung aufgetreten.

- b) Bei der Ventilation der rechten Lunge mit Stickstoff und der linken mit O_2 sinkt die O_2 -Sättigung kritisch ab.

In diesem Falle ist eine Indikation für die Resektion der linken Lunge seitens der Oxymetrie gegeben.

3. 21-jähriger Patient leidet an Tuberkulom im apicodorsalen Segment des linken Oberlappens.

- a) Bei der Ventilation der rechten Lunge mit O_2 und der linken mit Stickstoff sinkt die O_2 -Sättigung ab.

- b) Ebenfalls sinkt die O_2 -Sättigung bei umgekehrter Ventilation ab.

In diesem Fall sind die beiden Lungen an der Atmung gleichwertig beteiligt.

ERNST und WEISS fanden bei essentieller Hypertension eine Steigerung des O_2 -Verbrauches um durchschnittlich 22 % bei einem HMV von 5,9 Liter und einer A-V O_2 -Differenz von 46 ccm/Liter. Hingegen war die Erhöhung des O_2 -Verbrauches beim nephrogenen Hochdruck um 20 % bei einem HMV von 4,2 Liter gegeben.

K. WEZLER und A. BÖGER haben bei verschiedenen Hochdruckformen verschiedener Genese Patienten (zwischen 24 und 52 Jahre alt) untersucht und folgendes festgestellt:

1. Thyreotoxikose (38 Jahre) ein MV von 10,30 Liter bei 28,2 A-V O_2 -Differenz.
2. Essentielle Hypertension (51 Jahre) ein MV von 5,65 Liter bei 35,0 A-V O_2 -Differenz.
3. Chronische Nephritis (31 Jahre) ein MV 6,20 Liter bei einer A-V O_2 -Differenz von 41,8 ccm/Liter.
4. Chronische Nephritis (26 Jahre) ein MV von 3,9 Liter bei einer A-V O_2 -Differenz von 74,7 ccm/Liter.
5. Chronische Nephritis acuter Schuh (26 Jahre) ein MV von 1,80 Liter bei einer A-V O_2 -Differenz von 114,0 ccm/Liter.
6. Morbus Cushing (24 Jahre) ein MV von 2,20 Liter bei einer A-V O_2 -Differenz von 117,0 ccm/Liter.
7. Myxödem (29 Jahre) ein MV von 1,04 Liter bei einer A-V O_2 -Differenz von 102,5 ccm/Liter.

Der Normalwert bezüglich des Alters (20–60), in der Ruhe gemessen, beträgt für das MV 4,42 Liter und für die A-V O_2 -Differenz 52,0 ccm/Liter.

METHODIK DER EIGENEN UNTERSUCHUNGEN

I. Die spektrophotometrische Methode

A. Prinzip:

Die photometrische Bestimmung der O₂-Sättigung des Blutes basiert auf der Annahme, daß die O₂-Sättigung des Blutes den Quotienten

$$\frac{c\text{HbO}_2}{c\text{Hb} + c\text{HbO}_2} \cdot 100 \text{ darstellt}$$

In der gleichen Blutprobe die Konzentration (c) des Haemoglobins und des Oxyhaemoglobins, da die Extinktionskurven beider Haemoglobin-formen einen verschiedenen Verlauf haben, nebeneinander zu bestimmen, ist mit Hilfe des LAMBERT-BEER'schen Gesetzes möglich, weil die Lichtabsorption einer Lösung von Haemoglobin und Oxyhaemoglobin in zwei verschiedenen Wellenlängen zu messen ist.

Für Wellenlänge I gilt dann

$$E = \text{Log} \frac{I_0}{I} = c\text{HbO}_2 \cdot E_{\text{HbO}_2} \cdot d + c\text{Hb} \cdot E_{\text{Hb}} \cdot d \quad (1)$$

und für die Wellenlänge II

$$E' = \text{Log} \frac{I'_0}{I'} = c\text{HbO}_2 \cdot E'_{\text{HbO}_2} \cdot d + c\text{Hb} \cdot E'_{\text{Hb}} \cdot d \quad (2)$$

Das Ergebnis der Kombination beider Gleichungen (1) und (2) lautet:

$$\begin{aligned} & \left(\text{Log} \frac{I_0}{I} \cdot E'_{\text{Hb}} - \text{Log} \frac{I'_0}{I'} \cdot E_{\text{Hb}} \right) \cdot 100 \\ & \text{Log} \frac{I_0}{I} \cdot (E'_{\text{Hb}} - E'_{\text{HbO}_2}) + \text{Log} \frac{I'_0}{I'} \cdot (E_{\text{HbO}_2} - E_{\text{Hb}}) \\ & - \frac{c\text{HbO}_2 \cdot 100}{c\text{HbO}_2 + c\text{Hb}} = \text{O}_2\text{-Sättigung \%} \end{aligned} \quad (3)$$

Bei der Oxymetrie wählt man gewöhnlich die Wellenlängen folgendermaßen:

$$E'_{\text{HbO}_2} = E'_{\text{Hb}} \quad \text{daraus folgt:}$$

$$\text{O}_2\text{-Sättigung } \% =$$

$$\frac{\text{Log } \frac{I_0}{I'}}{\text{Log } \frac{I'_0}{I'}} \cdot \frac{E'_{\text{Hb}} \cdot 100}{(E'_{\text{HbO}_2} - E'_{\text{Hb}})} - \frac{E_{\text{Hb}} \cdot 100}{(E_{\text{HbO}_2} - E_{\text{Hb}})} \quad (4)$$

I_0 bzw. I'_0 = Lichtintensität, gemessen bei Abwesenheit von Haemoglobin und Oxyhaemoglobin.

I bzw. I' = Lichtintensität nach Durchgang durch eine Lösung von Hb und HbO₂

c = Konzentration von Hb und HbO₂.

E bzw. E' = Extinktionskoeffizient bei den zwei Wellenlängen.

d = Schichtdicke.

Um einen möglichst großen Meßausschlag zu bekommen, wird die I . Wellenlänge so gewählt, daß die Extinktionskoeffizienten von Haemoglobin und Oxyhaemoglobin möglichst verschieden sind. Die exakte Gültigkeit des LAMBERT-BEERSchen Gesetzes setzt die Verwendung von monochromatischem Licht und echte Farblösung voraus.

Durch die Verwendung von Interferenz-Filtern und Haemolyse der Blutprobe sind die beiden genannten Bedingungen im Atlas Universal-Oxymeter erfüllt.

Bei der Wellenlänge 810 m μ als Summe zweier Extinktionen mit gleichen Extinktionskoeffizienten erfolgt die Bestimmung des Total-Haemoglobins.

Mit Hilfe der Wellenlänge 625 m μ , in der die beiden Extinktionskoeffizienten stark differieren, wird der Quotient bestimmt.

Also sind zwei Messungen zur Ermittlung der Quantität und des Quotienten zweier Farbstoffe in zwei verschiedenen Wellenbereichen erforderlich.

Die Extinktionen werden gebildet durch die Logarithmierung der vom Apparat angezeigten Lichtabsorptionen mittels der logarithmischen Skalen des Nomogramms.

Hb- und HbO₂-Bestimmung von Blutproben durch Küvettenmessung

Zur Erleichterung der erforderlichen Pipettierung werden Pipettierspritzen geliefert, da von der exakten Pipettierung die Meßgenauigkeit entscheidend abhängt. Die Spritzen weisen bei 0,2, 1,6, 2 und 3,2 ccm je eine Raststellung auf und ermöglichen folgende Vorgänge:

1. Mischung des luftfrei zu entnehmenden Blutes mit Natrium Citrium im Verhältnis 9 : 1 zur Verhütung der Gerinnung.
2. Mischung des gerinnfreien Blutes mit entgaster Saponinlösung im Verhältnis 1 : 1 zwecks Haemolyse.
3. Mischen durch Schütteln mit einer Mischkugel.

Rezept und Herstellung der Saponinlösung:

100 ccm Aqua dest.
0,5 g Saponin purum album (Merck 7695)
1 ccm 25 %ige Ammoniaklösung.

120 ccm Aqua dest. werden zusammen mit 0,5 g Saponin bis auf 100 ccm eingekocht, um eine Entgasung zu erhalten. Nach Abkühlen auf Handwärme im Wasserbad wird 1 ccm 25 %ige Ammoniaklösung hinzugesetzt, bei anderer Ammonikkonzentration entsprechend mehr oder weniger.

Noch besser erfolgt die Entgasung unter reinem Stickstoff oder im Vakuum, da dann jede Aufsättigung von venösem Blut ausgeschlossen wird. Aufbewahren in kleinen Flaschen mit direktem Flüssigkeitsabschluß am Stopfen. Saponinlösungen sollen nicht länger als 14 Tage gelagert werden.

Füllung der Pipettierspritze:

1. Aufsetzen einer Kanüle von 1 mm Außendurchmesser und 60 mm Länge.
2. Aufziehen über Raststellung 0,2 hinaus mit mindestens 3,6 %igem Natrium Citricum.
3. Ausdrücken in senkrechter Haltung auf Raststellung 0,2, wodurch Luftblase entfernt wird. Kanüle abnehmen.
4. Ansaugen von Blut direkt aus dem Gefäß resp. dem Katheter bis Raststellung 2 ccm.

5. Mischen durch Schütteln mit eingebauter Mischkugel.
6. Wiederaufstecken der Kanüle und Ausdrücken in senkrechter Haltung auf Raststellung 1,6 ccm.
7. Nachsaugen von Saponinlösung bei Raststellung 3,2 ccm.
8. Einige Sekunden mischen.
9. In 45° Neigung mit auf dem Boden aufsitzender Kanüle unter Vermeidung von Sprühen in die Meßküvette eindringen, wobei die am Kolben angebrachte Kerbe nach oben zeigen muß, damit die Mischkugel in das gegenüberliegende Aufnahmeloch einlaufen kann und sich so die Spritze restlos leerdrücken läßt.

Die Vergleichsküvette:

Die Vergleichsküvette soll das Lösungsmittel der beiden zu messenden Farbstoffe HbO_2 und Hb darstellen, also praktisch das Blutserum, im Verhältnis 1 : 1 mit Saponinlösung verdünnt. Bei klarem Serum kann ohne Fehler nur gegen Saponinlösung allein gemessen werden. Bei starken Trübungen und stark anaemischem Blut empfiehlt es sich, durch 20minütiges Zentrifugieren bei mindestens 2500 Umdrehungen gewonnenes Originalserum verdünnt 1 : 1 mit Saponin zu verwenden. Ist im Zentrifugat eine Haemolyse feststellbar, so ist es zu verwerfen.

Messung im Gerät:

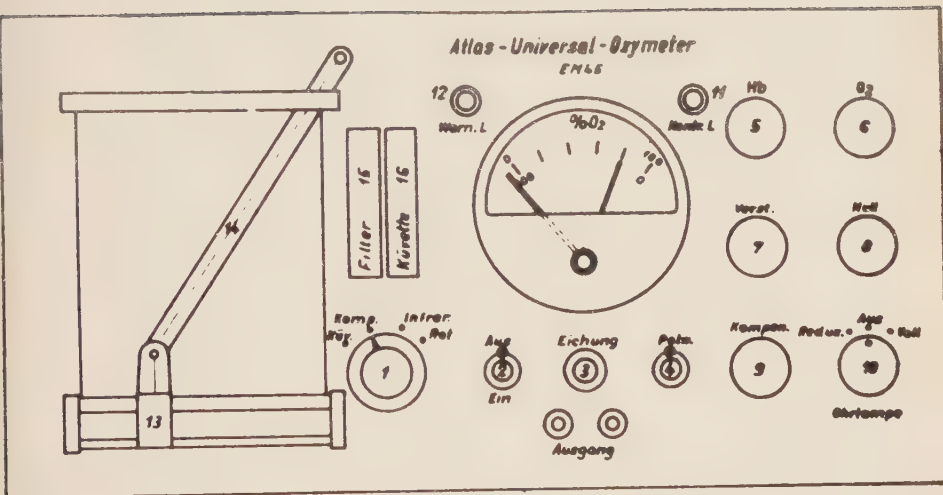
Die Meßeinrichtung besteht, in der Vorderansicht von links nach rechts betrachtet, aus einer Lichtquelle, dem Filterschlitten (15), dem Küvetten-schlitten (16) und der Photozelle, deren Leistung über einen Verstärker dem Anzeigeinstrument zugeführt wird.

Die Messung geschieht in folgender Reihenfolge:

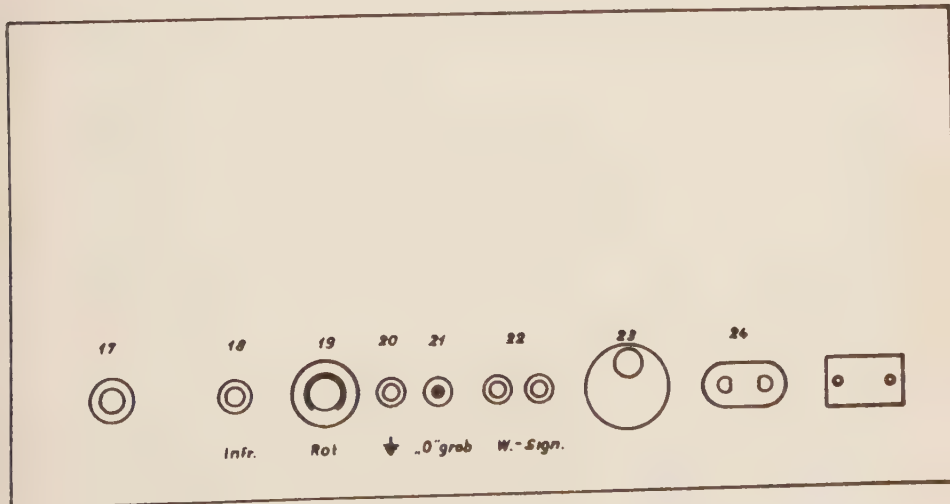
I. Hb-Bestimmung:

1. Wahlschalter (1) auf „Küvette“ stellen, Schalter (10) auf „aus“.
2. Schlitten (16) ganz herausziehen, wodurch Lichtweg gesperrt wird.
3. Bei ganz eingedrücktem Schlitten (15), also Infrarotfilter im Lichtweg, Potentiometer Hb (5) ca. 30° nach rechts aufdrehen.
4. Der Betätigung des Nullreglers (8) Instrumentenzeiger auf 0 der unteren Skala einspielen.

Vorderansicht



Rückansicht



5. Meßküvette in vorderes, Vergleichsküvette in hinteres Fach des Küvettenschlittens (16) einstecken.
6. Küvettenschlitten (16) bis zur Raststellung eindrücken, so daß Vergleichsküvette in den Lichtweg kommt.
7. Mit Verstärkerregler Hb (5) Zeiger auf 100 der unteren Skala bringen.
8. Schieber (16) wieder ganz herausziehen und 0 mit Regler (8) nachkorrigieren.
9. Vorgang 6, 7 und 8 so oft wiederholen, bis stabile Verhältnisse eintreten.
10. Den ganz herausgezogenen Küvettenschlitten (16) schnell völlig eindrücken, so daß der Zeiger immer von der rechten Nullage in den Meßwert nach links einläuft. Kurzes, leichtes Antippen des Instrumentes beschleunigt den Einlauf des Zeigers.
11. Den so auf der unteren Instrumentenskala ermittelten Ablesewert auf die logarithmische Infrarotskala des Nomogramms übertragen, am Gerät selbst durch Betätigung des Schiebers (13). Das Lot auf die beiden Parallelskalen gibt den Hb-Gehalt direkt in gr% und in Sahli-Werten an, wobei 100 % Sahli für 16 gr% Hb gelten.

Da dieser Wert als Parameter für die folgende O_2 -Bestimmung dient, ist er festzuhalten.

II. O_2 -Bestimmung:

1. Filterschlitten (15) um eine Raststellung herausziehen, wodurch statt des Infrarot- (810 m μ) das Rotfilter (625 m μ) in den Lichtweg eingebracht wird. Außerdem wird hierbei automatisch von Verstärkungsregler Hb (5) auf Regler O_2 (6) umgeschaltet.
2. Regler O_2 (6) etwas nach rechts aufdrehen.
3. Null bei völlig gezogenem Küvettenschlitten (16), d. h. verdunkeltem Lichtweg, durch Nullregler (8) justieren.
4. 100 der unteren Skala bei halb gezogenem Schlitten (16), d. h. Vergleichsküvette im Lichtweg, mittels Regler O_2 (6) einpegeln.
5. Wiederholung von Null- und Hundertjustierung bis zur Stabilität.
6. Ganz gezogenen Küvettenschlitten (16) voll eindrücken. Den Zei-

ger von rechts nach links zum Meßwert einspielen lassen, wobei durch leichtes Klopfen der Vorgang beschleunigt werden kann.

7. Ablesewert der unteren Instrumentenskala auf logarithmische Skala „Rot“ des Nomogramms übertragen. Diesen Punkt durch Faden oder Gerät durch Lineal (14) mit vorher ermitteltem Meßpunkt der Infrarotskala verbinden. Diese Linie schneidet einerseits die %O₂-Sättigungsskala zwischen 0 und 100, andererseits eine in Vol.% geeichte Skala. Sie gestattet, auch für jede venöse Probe sofort die zugehörige Maximalkapazität in Vol.% abzulesen, indem das Lineal unter Festhaltung des Drehpunktes auf der Infrarotskala bis zum Schnittpunkt 100% der O₂-Sättigungsskala verdreht wird.
8. Bei Nichtbenutzung des Küvettenteils des Oxymeters ist eine schwarze Blindküvette in das vordere Fach des Küvettenschiebers (16) einzustecken, die die Zelle bei eingedrücktem Schlitten von Licht entlastet.

Reinigung von Pipettierspritzen und Küvetten:

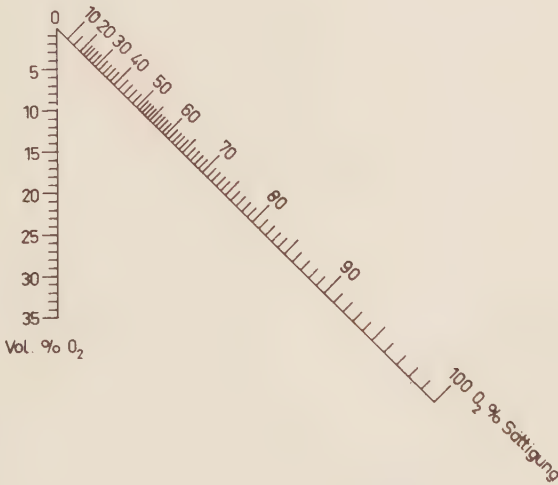
Die Spritzen sind sofort nach Gebrauch zunächst mit Leitungswasser und anschließend mit destilliertem Wasser zu reinigen. Sie können mit Äther getrocknet werden und lassen jede Art von Sterilisation zu. Bei längerer Aufbewahrung sollen sie vorher im auseinandergenommenen Zustand gereinigt werden. Alle Teile sind gegeneinander auswechselbar und können beliebig nachbestellt werden.

Die Küvetten aus Plexiglas dürfen keinesfalls mit Äther, Alkohol oder ähnlichen Substanzen behandelt werden. Sie sollen nur mit Wasser und zum Schluß mit Aqua dest. durchgespült werden. Sie trocknen am besten von selbst nach kräftigem Ausklopfen auf der Hand mit nach unten gerichteter Öffnung, doch können sie auch mit trockenen Gasen ausgeblasen werden. In der Praxis hat es sich bewährt, eine genügend lange Kanüle über einen Schlauch an eine Wasserstrahlpumpe anzuschließen und mit eingesteckter Saugkanüle die Küvette unter einen zweiten Wasserhahn zu halten, wodurch eine Umlaufspülung entsteht.

Auswertungs - Nomogramm

für

Küvetten-Messung



Atlas-Universal-Oxymeter

EM 45 a

Werk - Nr 104448

II. Die gasanalytische Methode (Die Ferricyanidmethode nach HALDANE)

A. Prinzip:

Das zu untersuchende Blut wird mit O_2 durch Schütteln in einem Reaktionsgefäß völlig gesättigt. Durch Zusatz von Kaliumferricyanid wird das Oxyhaemoglobin unter Freigabe von O_2 in Methaemoglobin umgewandelt. Bei konstantem Druck wird das Volumen des aufgenommenen bzw. ausgetriebenen Gases gemessen. Die Temperatur des Wasserbeckens, in dem sich das Reaktionsgefäß und das Meß- und Reguliersystem befinden, wird kontrolliert. Durch eine Borat-Pufferlösung wird das Entweichen von CO_2 während der O_2 -Analyse verhindert.

BEDIENUNGSANWEISUNG

zum Gerät zur Bestimmung der Sauerstoffsättigung und Sauerstoffkapazität des Blutes nach HALDANE-COURTICE-DOUGLAS.

Vorbereitungen zum Gebrauch:

Die hier angeführten Vorbereitungen zur Messung sind, da sie nur sehr selten durchgeführt werden müssen, praktisch einmalige Arbeiten. Sie bedürfen aber peinlichster Befolgung, da sonst die Meßgenauigkeit des Gerätes gefährdet wird. Die Kompensationskölbchen werden je mit $3,0\text{ cm}^3$ Aqua dest. zur Wasserdampfsättigung eingefüllt.

Die Glasröhrchen des Ausgleichs und des Meßsystems der zwei bzw. vier Einzelsysteme werden mit folgender Lösung aufgefüllt:

Kochsalz	23,0
Na-Choleinicum	5,0
Aqua dest.	500,0
Thymol sol. gtt.	8
M. para sol.	

Die Auffüllung muß so geschehen, daß bei höchstem Stand der Regulierröhre des Meßsystems die luftleer eingefüllte Lösung am oberen Rand der Eichung der Meßpipette steht. Beim Ausgleichsystem steht bei mittlerer Stellung der Regulierpipette dieses Systems die Auffülllösung in Höhe des an dem U-Rohr angebrachten Gummibändchens. Es kann nötig sein, das Gummibändchen, um es mit den Menisken in beiden Schenkeln der U-Röhre zur Deckung zu bringen, etwas verschieben zu müssen. Die Lösung sowohl in dem Meßsystem wie in dem Ausgleichsystem muß absolut luftleer sein. Dieses luftleere Einfüllen erfordert einige Übung.

Über die Regulierröhre des Meßsystems wird nun immer soweit nachgeglichen, daß der Meniskus in dem der Meßpipette benachbarten U-Rohr in gleicher Höhe bleibt. Ändert sich über fünf Minuten nichts mehr, so wird der Motor abgestellt und die Menisken in dem U-Rohr werden nun ganz genau mit Hilfe der Regulierröhre des Meßsystems und wenn erforderlich mit Hilfe der Regulierröhre des Ausgleichsystems genau auf ihre ursprüngliche Höhe eingestellt. Die Abweichung des Meniskus in der Ablesepipette vom Ausgangswert gibt den Wert eins = W I.

Nun wird mit Hilfe der Schüttelstange der Kölbchenhaltemechanismus so gekippt, daß die reduzierende Saponinlösung aus dem Seitenarm in den Hauptarm des Analysenkölbchens fließt. Dann wird wieder so lang mit Hilfe des Motors geschüttelt, bis nach wiederholtem Nachgleichen über die Regulierröhre des Meßsystems, wobei die Menisken im U-Rohr des Ausgleichsystems auf ihre ursprüngliche Höhe immer wieder eingestellt werden, bis nach dem letzten Nachgleichen fünf Minuten keine Veränderungen mehr eintreten. Insgesamt dauert dieser Vorgang etwa zwanzig Minuten.

Dann wird der Motor abgestellt, und mit Hilfe der Regulierröhren des Meßsystems und des Ausgleichsystems werden die Menisken im U-Rohr nochmals genau auf ihre ursprüngliche Stellung gebracht. In der Meßpipette stellt sich ein neuer Wert hierdurch ein, dessen Differenz zu dem bei der ersten Ablesung beobachteten Wert den Wert II = W II abgibt. Hiermit ist die Analyse beendet.

B e r e c h n u n g :

Zuerst wird der Gasfaktor bestimmt, der mit Hilfe der beiliegenden Tabelle gefunden wird. Hierzu ist es erforderlich, von dem ursprünglichen Barometerstand die Wasserdampfspannung abzuziehen (s. 2. Spalte im 1. Teil der Gasfaktortabelle). Der so gefundene Luftdruckwert läßt in Zusammenhang mit der Wasserbeckentemperatur den erforderlichen Reduktionsfaktor in den Tabellen finden, der nötig ist, um die Gasvolumina auf Normalbedingungen zu korrigieren. Die Ausrechnung geschieht nun wie folgt:

$$\frac{W I}{2} \cdot \text{Gasfaktor} \cdot 100 - \text{Correktionsfaktor} = \text{Sättigungsdefizitwert}$$

für temp.-abhän-
gige Löslichkeit

Korrekturfaktor für temperaturabhängige Löslichkeit siehe untenstehende Tabelle:

$$\frac{W \text{ II}}{2} \cdot \text{Gasfaktor} \cdot 100 = \text{O}_2 \text{ Kapazität Volumen}\%$$

$$\text{O}_2 \text{ Kap. Vol.}\% - \text{Sättigungsdefizitwert} = \text{Vol.}\% \text{ O}_2 \text{ des Blutes}$$

$$\frac{\text{Vol.}\% \text{ O}_2}{\text{O}_2 \text{ Kap Vol.}\%} \cdot 100 = \% \text{ Sauerstoffsättigung}$$

$$\frac{\text{O}_2 \text{ Kap Vol.}\%}{1,34} = \text{Haemoglobin g } \%$$

Tabelle für Trockenheit:

15 ° C	0,77	gilt für arterielles Blut von 80-100% Sättigung.
16	0,75	
17	0,69	
18	0,66	
19	0,62	
20	0,58	
21	0,54	
22	0,50	
23	0,46	
24	0,43	
25	0,39	

Bei arteriellem oder venösem Blut unter 80% Sättigung 0,96 abziehen.

Rechenbeispiel:

(Von jeder Blutprobe wurden Doppelbestimmungen gemacht)

T = 21 ° C (Temperatur des Wasserbeckens)

P = 760 mm Hg (Barometerstand).

Es handelt sich um arterielles Blut:

0,200 cm³ = die Einstellung des Meniskus in der Meßpipette
unterhalb des oberen Eichungsendes.

Während der Aufsättigung stieg der Meniskus in der einen Meßpipette auf 0,140 cm³, in der anderen auf 0,160 cm³. Mittelwert = 0,150 cm³.

$$0,200 - 0,150 = 0,050 = W \text{ I.}$$

Nach der Reduktion stand der Meniskus in der einen Meßpipette auf 0,520 cm³ und in der anderen auf 0,500 cm³. Mittelwert = 510 cm³.

$$0,510 - 0,150 = 0,360 = W \text{ II.}$$

Korrigiertes Barometer:

$$760,00 - 18,64 = 741,36$$

(Wasserdampfsättigung = 18,64)

Gasfaktor = 0,9053

$$\frac{0,05}{2} \cdot 0,9053 \cdot 100 = 2,26$$

$$\begin{aligned}
2,26 - 0,54 &= 1,72 \text{ Sättigungsdefizitwert} \\
\frac{0,36}{2} \cdot 0,9053 \cdot 100 &= 16,29 \text{ O}_2\text{-Kapazität Vol.}\% \\
16,29 - 1,72 &= 14,57 \text{ O}_2\text{-Vol.}\% \text{ des Blutes} \\
\frac{14,57}{16,29} \cdot 100 &= 89,50 \text{ O}_2\text{-Sättigung } \% \\
\frac{16,29}{1,34} &= 12,16 \text{ g } \% \text{ Hb}
\end{aligned}$$

Die für diese Arbeit verwendeten Blutproben wurden aus der Punktion der Arterie Femoralis (10,0 ccm Blut + 2 Tropfen Liquamin) und dem in gleicher Zeit aus den Armvenen entnommenen, ungestauten Blut (10,0 ccm Blut + 2 Tropfen Liquamin) gewonnen. Von jedem Patienten wurden jeweils etwa 3 ccm Venenblut entnommen, 20 Minuten ultrazentrifugiert und dieses Serum für die Vergleichsküvette des Atlas-Gerätes verwendet. Die arteriellen bzw. venösen Blutproben wurden sofort unter Ausschluß jeder Luftmenge in einem paraffinhaltigen Fläschchen unterschichtet. Von jeder arteriellen bzw. venösen Blutprobe wurde die Reihenfolge der Bestimmung in folgender Weise streng eingehalten:

A. DIE BESTIMMUNG MIT DEM ATLAS-GERÄT

(Der Apparat wurde etwa 30 Minuten vor den Untersuchungen eingeschaltet)

Arteriell es Blut:

1. Bestimmung des Hb-Gehaltes zweimal in etwa fünf Minuten. Der Wert hat sich meistens beim zweiten Mal nicht geändert. Bei Änderung des Wertes wurde der Mittelwert ermittelt.
2. Bestimmung der O₂-Sättigung% bzw. O₂ Vol.% zweimal in etwa fünf Minuten.

Hier war auch kaum eine Änderung zu beobachten. Bei Änderung wurde der Mittelwert ermittelt.

Venöses Blut:

1. Bestimmung des Hb-Gehaltes: Der bei dem arteriellen Blut ermittelte Wert wurde hier eingestellt und auf die Bestimmung des Hb-Gehaltes des venösen Blutes verzichtet, da es sich um dasselbe Blut handelt.
2. Bestimmung des O₂-Sättigung% bzw. des Vol.% zweimal in etwa fünf Minuten.

Hier hat sich der Wert meistens geändert, so daß die Ermittlung des Mittelwertes fast allgemein war. Es wurde der Versuch gemacht, für dieselbe Küvette drei- bis fünfmal die Bestimmung zu wiederholen, jedoch war nur beim zweiten Mal eine Änderung festzustellen.

B. DIE BESTIMMUNG MIT HALDANE-COURTICE-DOUGLAS-GERÄT

Nach der Versorgung des Atlas-Gerätes mit den Blutproben wurde der Rest des Blutes für die Bestimmung in diesem Gerät verwendet. Von jedem arteriellen und venösen Blut habe ich eine Doppelbestimmung durchgeführt, so daß die eine Seite des Gerätes das arterielle und die andere das venöse Blut je für Doppelbestimmung enthält.

Linke Seite des Gerätes:

Arteriell es Blut:

1. Feststellung des W I zur Ermittlung des O_2 -Sättigungsdefizitwertes.
2. Feststellung des W II zur Ermittlung des O_2 -Kapazitätswolumen %.

Rechte Seite des Gerätes:

Venöses Blut:

1. Feststellung des W I zur Ermittlung des O_2 -Sättigungsdefizitwertes.
2. Feststellung des W II zur Ermittlung des O_2 -Kapazitätswolumen %.

W I und W II sind in allen Blutproben die gewonnenen Mittelwerte arteriell oder venös, da es sich um jeweils Doppelbestimmung von jeder Blutprobe handelt.

Der Hb-Gehalt des Blutes muß beim Atlas-Gerät zuerst ermittelt werden. Er stellt dann den Ausgangspunkt für die weitere Untersuchungen dar. Ich habe deswegen die Tabellen, welche die Untersuchungen von insgesamt 52 Patienten enthalten, mit dem beim Atlas-Gerät ermittelten Hb-Wert begonnen.

Die meisten Schwierigkeiten sind bei den Arterien-Punktionen und den ungestauten Blutentnahmen der Armvenen gegeben. Die für die Blut Aufbewahrung verwendeten Fläschchen, die ein Fassungsvermögen von 12 ccm und eine Öffnung von etwa 1,5 cm Durchmesser haben, enthalten vor der luftleeren Blutunterschichtung etwa 1,5 ccm reines Paraffin.

Bei der Blutentnahme von diesen paraffinhaltigen Gefäßen wird die Nadel mit Paraffin benetzt und hat eine Vergrößerung des Fehlerbereiches zur Folge. Diese Schwierigkeit läßt sich durch direkte Abwechslung der benetzten Nadel gegen eine saubere, trockene Nadel nach der Blutentnahme beseitigen. Die Säuberung der Küvetten stellt eine geringe Schwierigkeit dar. Diese Küvetten werden vorschriftsmäßig, wie es vorher beschrieben wurde, gesäubert und getrocknet und dürfen überhaupt nicht gekratzt werden. Diese Schwierigkeit läßt sich gut überwinden, wenn man die Küvetten

Druck des gesättigten Wasserdampfes		Druck in mm Hg																
°C	Druck mm Hg	°C	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711				
2	5,291	2	0,9143	0,9156	0,9170	0,9183	0,9196	0,9209	0,9222	0,9235	0,9248	0,9261	0,9274	0,9287				
4	6,097	4	0,9077	0,9090	0,9103	0,9116	0,9129	0,9142	0,9155	0,9168	0,9181	0,9194	0,9207	0,9220				
6	7,010	6	0,9013	0,9025	0,9038	0,9051	0,9064	0,9076	0,9089	0,9102	0,9115	0,9128	0,9141	0,9154				
8	8,041	8	0,8948	0,8961	0,8973	0,8986	0,8999	0,9011	0,9024	0,9037	0,9050	0,9063	0,9075	0,9088				
10	9,204	10	0,8885	0,8898	0,8910	0,8923	0,8935	0,8948	0,8961	0,8974	0,8986	0,8999	0,9012	0,9025				
11	9,839	11	0,8853	0,8866	0,8878	0,8891	0,8903	0,8916	0,8929	0,8912	0,8955	0,8967	0,8980	0,8993				
12	10,51	12	0,8823	0,8835	0,8848	0,8860	0,8873	0,8886	0,8898	0,8911	0,8923	0,8936	0,8949	0,8961				
13	11,22	13	0,8792	0,8804	0,8817	0,8829	0,8841	0,8854	0,8867	0,8880	0,8892	0,8905	0,8917	0,8930				
14	11,98	14	0,8761	0,8773	0,8785	0,8798	0,8810	0,8824	0,8836	0,8849	0,8861	0,8874	0,8886	0,8899				
15	12,78	15	0,8731	0,8743	0,8756	0,8768	0,8780	0,8793	0,8805	0,8818	0,8830	0,8843	0,8855	0,8868				
16	13,63	16	0,8700	0,8713	0,8725	0,8737	0,8749	0,8762	0,8775	0,8787	0,8800	0,8812	0,8825	0,8837				
17	14,52	17	0,8670	0,8682	0,8695	0,8707	0,8719	0,8732	0,8745	0,8757	0,8769	0,8782	0,8794	0,8807				
18	15,47	18	0,8640	0,8652	0,8664	0,8677	0,8789	0,8702	0,8715	0,8727	0,8739	0,8752	0,8764	0,8776				
19	16,47	19	0,8611	0,8623	0,8635	0,8647	0,8659	0,8672	0,8685	0,8697	0,8709	0,8722	0,8734	0,8746				
20	17,53	20	0,8581	0,8593	0,8605	0,8618	0,8630	0,8643	0,8655	0,8667	0,8680	0,8692	0,8704	0,8716				
21	18,64	21	0,8552	0,8564	0,8576	0,8588	0,8600	0,8613	0,8626	0,8638	0,8650	0,8662	0,8674	0,8687				
22	19,82	22	0,8523	0,8535	0,8547	0,8559	0,8571	0,8584	0,8596	0,8609	0,8621	0,8633	0,8645	0,8657				
23	21,07	23	0,8494	0,8506	0,8518	0,8530	0,8542	0,8555	0,8567	0,8579	0,8592	0,8604	0,8616	0,8628				
24	22,37	24	0,8465	0,8477	0,8489	0,8501	0,8513	0,8526	0,8538	0,8551	0,8563	0,8575	0,8587	0,8599				
25	23,75	25	0,8437	0,8449	0,8461	0,8473	0,8485	0,8498	0,8510	0,8522	0,8534	0,8546	0,8558	0,8570				
26	25,20	26	0,8409	0,8421	0,8433	0,8444	0,8456	0,8469	0,8481	0,8493	0,8505	0,8517	0,8529	0,8541				
27	26,73	27	0,8380	0,8392	0,8504	0,8416	0,8428	0,8441	0,8453	0,8465	0,8477	0,8489	0,8501	0,8513				
28	28,34	28	0,8352	0,8364	0,8376	0,8388	0,8400	0,8413	0,8425	0,8437	0,8449	0,8461	0,8473	0,8485				
29	30,03	29	0,8325	0,8337	0,8349	0,8361	0,8373	0,8385	0,8397	0,8409	0,8421	0,8433	0,8445	0,8456				
30	31,81	30	0,8298	0,8309	0,8321	0,8333	0,8345	0,8357	0,8369	0,8381	0,8393	0,8405	0,8417	0,8429				
31	33,69	31	0,8270	0,8281	0,8293	0,8305	0,8317	0,8329	0,8341	0,8352	0,8364	0,8376	0,8388	0,8400				
32	35,65	32	0,8243	0,8254	0,8266	0,8278	0,8290	0,8301	0,8313	0,8325	0,8337	0,8348	0,8360	0,8372				
33	37,72	33	0,8216	0,8227	0,8239	0,8251	0,8262	0,8274	0,8286	0,8298	0,8309	0,8321	0,8333	0,8345				
34	39,89	34	0,8189	0,8200	0,8212	0,8224	0,8236	0,8247	0,8259	0,8271	0,8282	0,8294	0,8306	0,8317				

°C	Druck in mm Hg														
	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	
2	0,9300	0,9313	0,9326	0,9340	0,9353	0,9366	0,9379	0,9392	0,9405	0,9418	0,9431	0,9444	0,9457	0,9470	
4	0,9233	0,9246	0,9259	0,9272	0,9285	0,9297	0,9310	0,9323	0,9336	0,9349	0,9362	0,9375	0,9388	0,9401	
6	0,9166	0,9180	0,9193	0,9205	0,9218	0,9231	0,9244	0,9257	0,9270	0,9283	0,9295	0,9308	0,9321	0,9334	
8	0,9100	0,9114	0,9127	0,9139	0,9152	0,9165	0,9177	0,9190	0,9203	0,9216	0,9229	0,9241	0,9254	0,9267	
10	0,9037	0,9050	0,9063	0,9075	0,9088	0,9101	0,9113	0,9126	0,9139	0,9151	0,9164	0,9177	0,9190	0,9202	
11	0,9005	0,9018	0,9031	0,9043	0,9056	0,9069	0,9081	0,9094	0,9107	0,9119	0,9132	0,9144	0,9157	0,9170	
12	0,8974	0,8986	0,8999	0,9012	0,9024	0,9037	0,9049	0,9062	0,9075	0,9087	0,9100	0,9112	0,9125	0,9138	
13	0,8942	0,8955	0,8967	0,8980	0,8993	0,9005	0,9018	0,9030	0,9043	0,9055	0,9068	0,9081	0,9093	0,9106	
14	0,8911	0,8924	0,8936	0,8949	0,8961	0,8974	0,8986	0,8999	0,9011	0,9024	0,9036	0,9049	0,9061	0,9074	
15	0,8880	0,8893	0,8905	0,8918	0,8930	0,8943	0,8955	0,8968	0,8980	0,8992	0,9005	0,9017	0,9030	0,9042	
16	0,8849	0,8862	0,8874	0,8887	0,8899	0,8912	0,8924	0,8936	0,8949	0,8961	0,8974	0,8986	0,8999	0,9011	
17	0,8819	0,8831	0,8844	0,8856	0,8869	0,8881	0,8893	0,8906	0,8918	0,8930	0,8943	0,8955	0,8968	0,8980	
18	0,8789	0,8801	0,8813	0,8826	0,8838	0,8850	0,8863	0,8875	0,8887	0,8900	0,8912	0,8924	0,8937	0,8949	
19	0,8759	0,8771	0,8783	0,8795	0,8808	0,8820	0,8832	0,8845	0,8857	0,8869	0,8882	0,8894	0,8906	0,8918	
20	0,8729	0,8741	0,8753	0,8765	0,8778	0,8790	0,8802	0,8814	0,8827	0,8839	0,8851	0,8863	0,8876	0,8888	
21	0,8699	0,8711	0,8723	0,8736	0,8748	0,8760	0,8772	0,8784	0,8797	0,8809	0,8821	0,8833	0,8846	0,8858	
22	0,8669	0,8682	0,8694	0,8706	0,8718	0,8730	0,8742	0,8755	0,8767	0,8779	0,8791	0,8803	0,8816	0,8828	
23	0,8640	0,8652	0,8664	0,8677	0,8689	0,8701	0,8713	0,8725	0,8737	0,8749	0,8761	0,8774	0,8786	0,8798	
24	0,8611	0,8623	0,8635	0,8647	0,8659	0,8671	0,8684	0,8696	0,8708	0,8720	0,8732	0,8744	0,8756	0,8768	
25	0,8582	0,8594	0,8606	0,8618	0,8630	0,8642	0,8654	0,8666	0,8679	0,8691	0,8703	0,8715	0,8727	0,8739	
26	0,8553	0,8565	0,8577	0,8589	0,8601	0,8613	0,8625	0,8637	0,8649	0,8661	0,8674	0,8686	0,8698	0,8710	
27	0,8525	0,8537	0,8549	0,8561	0,8573	0,8585	0,8597	0,8609	0,8621	0,8633	0,8645	0,8657	0,8669	0,8680	
28	0,8497	0,8508	0,8520	0,8532	0,8544	0,8556	0,8568	0,8580	0,8592	0,8604	0,8616	0,8628	0,8640	0,8652	
29	0,8468	0,8480	0,8492	0,8504	0,8516	0,8526	0,8540	0,8552	0,8564	0,8575	0,8587	0,8599	0,8611	0,8623	
30	0,8440	0,8452	0,8464	0,8476	0,8488	0,8500	0,8512	0,8523	0,8535	0,8547	0,8559	0,8571	0,8583	0,8595	
31	0,8411	0,8423	0,8435	0,8448	0,8460	0,8472	0,8484	0,8495	0,8507	0,8519	0,8531	0,8543	0,8554	0,8566	
32	0,8384	0,8396	0,8407	0,8420	0,8432	0,8444	0,8456	0,8467	0,8479	0,8491	0,8503	0,8515	0,8526	0,8538	
33	0,8356	0,8368	0,8380	0,8393	0,8405	0,8416	0,8428	0,8440	0,8452	0,8463	0,8475	0,8487	0,8498	0,8510	
34	0,8329	0,8341	0,8353	0,8365	0,8377	0,8389	0,8401	0,8412	0,8424	0,8436	0,8447	0,8459	0,8471	0,8482	
35	0,8202	0,8314	0,8325	0,8338	0,8350	0,8362	0,8373	0,8385	0,8397	0,8408	0,8420	0,8432	0,8443	0,8455	

°C	Druck in mm Hg													
	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739
2	0,9483	0,9496	0,9509	0,9522	0,9535	0,9548	0,9562	0,9575	0,9588	0,9601	0,9614	0,9627	0,9641	0,9654
4	0,9414	0,9427	0,9440	0,9453	0,9466	0,9479	0,9492	0,9505	0,9518	0,9531	0,9544	0,9557	0,9570	0,9583
6	0,9347	0,9360	0,9373	0,9386	0,9400	0,9411	0,9424	0,9437	0,9450	0,9463	0,9476	0,9489	0,9502	0,9515
8	0,9280	0,9293	0,9305	0,9318	0,9331	0,9343	0,9357	0,9370	0,9382	0,9395	0,9407	0,9420	0,9434	0,9446
10	0,9215	0,9228	0,9240	0,9253	0,9266	0,9278	0,9291	0,9301	0,9316	0,9329	0,9342	0,9355	0,9367	0,9380
11	0,9182	0,9195	0,9208	0,9220	0,9233	0,9246	0,9258	0,9271	0,9284	0,9296	0,9309	0,9322	0,9334	0,9347
12	0,9150	0,9163	0,9175	0,9188	0,9201	0,9213	0,9226	0,9238	0,9251	0,9264	0,9276	0,9289	0,9301	0,9314
13	0,9118	0,9131	0,9143	0,9156	0,9168	0,9181	0,9194	0,9206	0,9219	0,9231	0,9244	0,9256	0,9269	0,9281
14	0,9086	0,9099	0,9111	0,9124	0,9136	0,9146	0,9162	0,9174	0,9187	0,9199	0,9212	0,9224	0,9237	0,9249
15	0,9055	0,9067	0,9080	0,9092	0,9105	0,9117	0,9130	0,9142	0,9155	0,9167	0,9180	0,9192	0,9205	0,9217
16	0,9023	0,9036	0,9048	0,9061	0,9073	0,9086	0,9098	0,9110	0,9123	0,9135	0,9148	0,9160	0,9173	0,9185
17	0,8992	0,9005	0,9017	0,9030	0,9042	0,9054	0,9067	0,9079	0,9091	0,9104	0,9116	0,9129	0,9141	0,9153
18	0,8961	0,8974	0,8986	0,8998	0,9011	0,9023	0,9036	0,9048	0,9060	0,9073	0,9085	0,9097	0,9110	0,9122
19	0,8931	0,8943	0,8955	0,8968	0,8980	0,8992	0,9005	0,9017	0,9029	0,9041	0,9054	0,9066	0,9078	0,9091
20	0,8900	0,8913	0,8925	0,8937	0,8949	0,8962	0,8974	0,8986	0,8998	0,9011	0,9023	0,9035	0,9047	0,9060
21	0,8870	0,8882	0,8894	0,8907	0,8919	0,8931	0,8943	0,8955	0,8968	0,8980	0,8992	0,9004	0,9017	0,9029
22	0,8840	0,8852	0,8864	0,8876	0,8889	0,8901	0,8913	0,8925	0,8937	0,8949	0,8962	0,8974	0,8986	0,8998
23	0,8810	0,8822	0,8834	0,8846	0,8859	0,8871	0,8883	0,8895	0,8907	0,8919	0,8931	0,8943	0,8956	0,8968
24	0,8780	0,8792	0,8805	0,8817	0,8829	0,8841	0,8853	0,8865	0,8877	0,8889	0,8901	0,8913	0,8925	0,8938
25	0,8751	0,8763	0,8775	0,8787	0,8799	0,8811	0,8823	0,8835	0,8847	0,8859	0,8871	0,8883	0,8895	0,8908
26	0,8722	0,8734	0,8746	0,8758	0,8770	0,8782	0,8794	0,8806	0,8818	0,8830	0,8840	0,8854	0,8866	0,8878
27	0,8692	0,8704	0,8716	0,8728	0,8740	0,8752	0,8764	0,8776	0,8788	0,8800	0,8812	0,8824	0,8836	0,8848
28	0,8664	0,8676	0,8687	0,8699	0,8711	0,8723	0,8735	0,8747	0,8759	0,8771	0,8783	0,8795	0,8807	0,8819
29	0,8664	0,8676	0,8687	0,8699	0,8711	0,8723	0,8735	0,8747	0,8759	0,8771	0,8783	0,8795	0,8807	0,8819
30	0,8606	0,8618	0,8630	0,8642	0,8654	0,8666	0,8677	0,8689	0,8701	0,8713	0,8725	0,8737	0,8749	0,8760
31	0,8578	0,8590	0,8602	0,8613	0,8625	0,8637	0,8649	0,8661	0,8673	0,8684	0,8696	0,8708	0,8720	0,8732
32	0,8550	0,8562	0,8573	0,8585	0,8597	0,8609	0,8621	0,8632	0,8644	0,8656	0,8668	0,8679	0,8691	0,8703
33	0,8522	0,8534	0,8545	0,8557	0,8569	0,8581	0,8592	0,8604	0,8616	0,8628	0,8639	0,8651	0,8663	0,8675
34	0,8494	0,8506	0,8518	0,8529	0,8541	0,8553	0,8564	0,8576	0,8588	0,8599	0,8611	0,8623	0,8635	0,8646
35	0,8467	0,8478	0,8490	0,8502	0,8513	0,8525	0,8537	0,8548	0,8560	0,8572	0,8583	0,8595	0,8607	0,8618

°C	Druck in mm Hg														752	753
	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753		
2	0,9667	0,9680	0,9693	0,9706	0,9719	0,9732	0,9745	0,9758	0,9771	0,9784	0,9797	0,9810	0,9823	0,9836		
4	0,9596	0,9609	0,9622	0,9634	0,9647	0,9661	0,9674	0,9687	0,9699	0,9712	0,9725	0,9738	0,9751	0,9764		
6	0,9527	0,9540	0,9553	0,9566	0,9579	0,9592	0,9605	0,9617	0,9630	0,9643	0,9656	0,9669	0,9682	0,9695		
8	0,9459	0,9472	0,9484	0,9497	0,9509	0,9523	0,9536	0,9548	0,9561	0,9574	0,9587	0,9600	0,9612	0,9625		
10	0,9393	0,9405	0,9418	0,9431	0,9443	0,9456	0,9469	0,9481	0,9494	0,9507	0,9520	0,9532	0,9545	0,9558		
11	0,9360	0,9372	0,9385	0,9397	0,9410	0,9423	0,9435	0,9448	0,9461	0,9473	0,9486	0,9499	0,9511	0,9524		
12	0,9327	0,9339	0,9352	0,9364	0,9377	0,9390	0,9402	0,9415	0,9427	0,9440	0,9453	0,9465	0,9478	0,9491		
13	0,9294	0,9307	0,9319	0,9332	0,9344	0,9357	0,9369	0,9382	0,9395	0,9407	0,9420	0,9432	0,9445	0,9457		
14	0,9262	0,9274	0,9287	0,9299	0,9312	0,9324	0,9337	0,9349	0,9362	0,9374	0,9387	0,9399	0,9412	0,9424		
15	0,9229	0,9242	0,9254	0,9267	0,9279	0,9292	0,9304	0,9317	0,9329	0,9342	0,9354	0,9367	0,9379	0,9392		
16	0,9197	0,9210	0,9222	0,9235	0,9247	0,9260	0,9272	0,9285	0,9297	0,9309	0,9322	0,9334	0,9347	0,9359		
17	0,9165	0,9178	0,9191	0,9203	0,9215	0,9228	0,9240	0,9252	0,9265	0,9277	0,9290	0,9302	0,9314	0,9327		
18	0,9134	0,9147	0,9159	0,9171	0,9185	0,9196	0,9208	0,9221	0,9233	0,9245	0,9258	0,9270	0,9282	0,9295		
19	0,9103	0,9115	0,9128	0,9140	0,9152	0,9164	0,9177	0,9189	0,9201	0,9214	0,9226	0,9238	0,9251	0,9263		
20	0,9072	0,9084	0,9096	0,9109	0,9121	0,9133	0,9145	0,9158	0,9170	0,9182	0,9184	0,9207	0,9219	0,9231		
21	0,9041	0,9053	0,9065	0,9078	0,9090	0,9102	0,9114	0,9127	0,9139	0,9151	0,9163	0,9175	0,9188	0,9200		
22	0,9010	0,9023	0,9035	0,9047	0,9059	0,9071	0,9083	0,9096	0,9108	0,9120	0,9132	0,9144	0,9156	0,9168		
23	0,8980	0,8992	0,9004	0,9016	0,9028	0,9041	0,9053	0,9065	0,9077	0,9089	0,9101	0,9113	0,9126	0,9138		
24	0,8950	0,8962	0,9274	0,8986	0,8998	0,9010	0,9022	0,9034	0,9046	0,9058	0,9071	0,9083	0,9095	0,9107		
25	0,8920	0,9832	0,8944	0,8956	0,8968	0,8980	0,8992	0,9004	0,9016	0,9028	0,9040	0,9052	0,9064	0,9076		
26	0,8890	0,8902	0,8914	0,8926	0,8938	0,8950	0,8962	0,8974	0,8986	0,8998	0,9010	0,9022	0,9034	0,9046		
27	0,8860	0,8872	0,8884	0,8896	0,8908	0,8920	0,8932	0,8944	0,8956	0,8968	0,8980	0,8992	0,9004	0,9016		
28	0,8831	0,8843	0,8855	0,8866	0,8878	0,8890	0,8902	0,8914	0,8926	0,8938	0,8950	0,8962	0,8974	0,8986		
29	0,8801	0,8813	0,8825	0,8837	0,8849	0,8861	0,8873	0,8885	0,8897	0,8908	0,8920	0,8932	0,8944	0,8956		
30	0,8772	0,8784	0,8796	0,8808	0,8820	0,8832	0,8843	0,8855	0,8867	0,8879	0,8891	0,8903	0,8915	0,8926		
31	0,8743	0,8755	0,8767	0,8779	0,8791	0,8803	0,8814	0,8826	0,8838	0,8850	0,8862	0,8873	0,8885	0,8897		
32	0,8715	0,8727	0,8738	0,8750	0,8762	0,8774	0,8785	0,8797	0,8809	0,8821	0,8833	0,8844	0,8856	0,8868		
33	0,8686	0,8698	0,8710	0,8721	0,8733	0,8744	0,8757	0,8768	0,8780	0,8792	0,8804	0,8815	0,8827	0,8839		
34	0,8658	0,8670	0,8681	0,8693	0,8705	0,8716	0,8728	0,8740	0,8752	0,8763	0,8775	0,8787	0,8798	0,8810		
35	0,8630	0,8642	0,8653	0,8665	0,8676	0,8688	0,8700	0,8711	0,8723	0,8735	0,8746	0,8758	0,8770	0,8781		

Druck in mm Hg

°C	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767
2	0,9849	0,9862	0,9875	0,9888	0,9901	0,9914	0,9927	0,9940	0,9953	0,9966	0,9980	0,9993	1,0006	1,00019
4	0,9777	0,9790	0,9803	0,9816	0,9829	0,9842	0,9855	0,9868	0,9881	0,9894	0,9907	0,9920	0,9933	0,9946
6	0,9707	0,9720	0,9733	0,9746	0,9759	0,9772	0,9785	0,9797	0,9810	0,9823	0,9837	0,9849	0,9862	0,9875
8	0,8638	0,9650	0,9663	0,9677	0,9689	0,9702	0,9714	0,9727	0,9740	0,9753	0,9766	0,9779	0,9791	0,9804
10	0,9570	0,9583	0,9596	0,9608	0,9621	0,9634	0,9646	0,9659	0,9672	0,9685	0,9697	0,9710	0,9723	0,9735
11	0,9537	0,9549	0,9562	0,9575	0,9587	0,9600	0,9612	0,9625	0,9638	0,9650	0,9663	0,9676	0,9688	0,9701
12	0,9503	0,9516	0,9528	0,9541	0,9554	0,9566	0,9579	0,9591	0,9604	0,9617	0,9629	0,9642	0,9654	0,9667
13	0,9470	0,9482	0,9495	0,9508	0,9520	0,9533	0,9545	0,9558	0,9570	0,9583	0,9595	0,9608	0,9621	0,9633
14	0,9437	0,9449	0,9462	0,9474	0,9487	0,9499	0,9512	0,9524	0,9537	0,9549	0,9562	0,9575	0,9587	0,9600
15	0,9404	0,9417	0,9429	0,9441	0,9454	0,9466	0,9479	0,9491	0,9504	0,9516	0,9529	0,9541	0,9554	0,9566
16	0,9372	0,9384	0,9396	0,9409	0,9421	0,9434	0,9446	0,9459	0,9471	0,9483	0,9496	0,9508	0,9521	0,9533
17	0,9339	0,9352	0,9364	0,9376	0,9389	0,9401	0,9413	0,9426	0,9438	0,9451	0,9463	0,9475	0,9488	0,9500
18	0,9307	0,9319	0,9332	0,9344	0,9356	0,9369	0,9381	0,9393	0,9406	0,9418	0,9431	0,9443	0,9455	0,9468
19	0,9275	0,9287	0,9300	0,9312	0,9324	0,9337	0,9349	0,9361	0,9374	0,9386	0,9398	0,9410	0,9423	0,9435
20	0,9244	0,9256	0,9268	0,9280	0,9293	0,9305	0,9317	0,9329	0,9342	0,9354	0,9366	0,9378	0,9391	0,9403
21	0,9212	0,9224	0,9236	0,9249	0,9261	0,9273	0,9285	0,9298	0,9310	0,9322	0,9334	0,9346	0,9359	0,9371
22	0,9181	0,9193	0,9205	0,9217	0,9230	0,9242	0,9254	0,9266	0,9278	0,9290	0,9303	0,9315	0,9327	0,9339
23	0,9150	0,9162	0,9174	0,9186	0,9198	0,9210	0,9223	0,9235	0,9247	0,9259	0,9271	0,9283	0,9295	0,9308
24	0,9119	0,9131	0,9143	0,9155	0,9167	0,9179	0,9192	0,9204	0,9216	0,9228	0,9240	0,9252	0,9264	0,9276
25	0,9088	0,9100	0,9112	0,9124	0,9137	0,9149	0,9161	0,9173	0,9185	0,9197	0,9209	0,9221	0,9233	0,9245
26	0,9058	0,9070	0,9082	0,9094	0,9106	0,9118	0,9130	0,9142	0,9154	0,9166	0,9178	0,9190	0,9202	0,9214
27	0,9028	0,9040	0,9052	0,9064	0,9076	0,9088	0,9100	0,9112	0,9123	0,9135	0,9147	0,9159	0,9171	0,9183
28	0,8998	0,9010	0,9022	0,9034	0,9045	0,9057	0,9069	0,9081	0,9093	0,9105	0,9117	0,9129	0,9141	0,9153
29	0,8968	0,8980	0,8992	0,9004	0,9015	0,9027	0,9039	0,9051	0,9063	0,9075	0,9087	0,9099	0,9111	0,9123
30	0,8938	0,8950	0,8962	0,8974	0,8986	0,8998	0,9009	0,9021	0,9033	0,9045	0,9057	0,9069	0,9081	0,9092
31	0,8909	0,8921	0,8933	0,8944	0,8956	0,8968	0,8980	0,8992	0,9003	0,9015	0,9027	0,9039	0,9051	0,9062
32	0,8880	0,8991	0,8903	0,8915	0,8927	0,8939	0,8950	0,8962	0,8974	0,8986	0,8997	0,9009	0,9021	0,9033
33	0,8851	0,8862	0,8874	0,8886	0,8898	0,8909	0,8921	0,8933	0,8945	0,8956	0,8968	0,8980	0,8991	0,9003
34	0,8822	0,8833	0,8845	0,8857	0,8869	0,8880	0,8892	0,8904	0,8915	0,8927	0,8939	0,8950	0,8962	0,8974
35	0,8793	0,8805	0,8816	0,8828	0,8840	0,8851	0,8863	0,8875	0,8886	0,8898	0,8910	0,8921	0,8933	0,8945

°C	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780
2	1,0032	1,0045	1,0058	1,0071	1,0084	1,0097	1,0110	1,0123	1,0137	1,0150	1,0163	1,0176	1,0189
4	0,9959	0,9972	0,9985	0,9998	1,0011	1,0024	1,0037	1,0050	1,0063	1,0076	1,0089	1,0101	1,0114
6	0,9887	0,9900	0,9913	0,9926	0,9939	0,9952	0,9965	0,9978	0,9991	1,0004	1,0017	1,0029	1,0042
8	0,9816	0,9829	0,9842	0,9855	0,9868	0,9881	0,9893	0,9906	0,9919	0,9932	0,9945	0,9957	0,9970
10	0,9748	0,9761	0,9773	0,9786	0,9799	0,9811	0,9824	0,9837	0,9850	0,9862	0,9875	0,9888	0,9900
11	0,9714	0,9726	0,9739	0,9752	0,9764	0,9777	0,9790	0,9802	0,9815	0,9827	0,9840	0,9853	0,9865
12	0,9680	0,9692	0,9705	0,9717	0,9730	0,9743	0,9755	0,9768	0,9780	0,9793	0,9806	0,9818	0,9831
13	0,9646	0,9658	0,9671	0,9683	0,9696	0,9708	0,9721	0,9734	0,9746	0,9759	0,9771	0,9784	0,9796
14	0,9612	0,9625	0,9637	0,9650	0,9662	0,9675	0,9687	0,9700	0,9712	0,9725	0,9737	0,9750	0,9762
15	0,9579	0,9591	0,9604	0,9616	0,9629	0,9641	0,9654	0,9666	0,9678	0,9691	0,9703	0,9716	0,9728
16	0,9546	0,9558	0,9570	0,9583	0,9595	0,9608	0,9620	0,9633	0,9645	0,9657	0,9670	0,9682	0,9695
17	0,9513	0,9525	0,9537	0,9550	0,9562	0,9575	0,9587	0,9599	0,9612	0,9624	0,9636	0,9649	0,9661
18	0,9480	0,9492	0,9505	0,9517	0,9529	0,9542	0,9554	0,9566	0,9578	0,9591	0,9603	0,9616	0,9628
19	0,9447	0,9460	0,9472	0,9484	0,9497	0,9509	0,9521	0,9534	0,9546	0,9558	0,9570	0,9583	0,9595
20	0,9415	0,9427	0,9440	0,9452	0,9464	0,9476	0,9489	0,9501	0,9513	0,9525	0,9538	0,9550	0,9562
21	0,9383	0,9395	0,9408	0,9420	0,9432	0,9444	0,9456	0,9469	0,9481	0,9493	0,9505	0,9517	0,9530
22	0,9351	0,9363	0,9376	0,9388	0,9400	0,9412	0,9424	0,9437	0,9449	0,9461	0,9473	0,9485	0,9497
23	0,9320	0,9332	0,9344	0,9356	0,9368	0,9380	0,9392	0,9405	0,9417	0,9429	0,9441	0,9453	0,9465
24	0,9288	0,9300	0,9312	0,9325	0,9337	0,9349	0,9361	0,9373	0,9385	0,9397	0,9409	0,9421	0,9433
25	0,9257	0,9269	0,9281	0,9293	0,9305	0,9317	0,9329	0,9341	0,9354	0,9366	0,9378	0,9390	0,9402
26	0,9226	0,9238	0,9250	0,9262	0,9274	0,9286	0,9298	0,9310	0,9322	0,9334	0,9346	0,9358	0,9370
27	0,9195	0,9207	0,9219	0,9231	0,9243	0,9255	0,9267	0,9279	0,9291	0,9303	0,9315	0,9327	0,9339
28	0,9165	0,9177	0,9189	0,9201	0,9213	0,9224	0,9236	0,9248	0,9260	0,9272	0,9284	0,9296	0,9308
29	0,9134	0,9146	0,9158	0,9170	0,9182	0,9194	0,9206	0,9218	0,9230	0,9242	0,9253	0,9265	0,9277
30	0,9104	0,9116	0,9128	0,9140	0,9152	0,9164	0,9175	0,9187	0,9199	0,9211	0,9223	0,9235	0,9247
31	0,9074	0,9086	0,9098	0,9110	0,9122	0,9133	0,9145	0,9157	0,9169	0,9181	0,9192	0,9204	0,9216
32	0,9045	0,9056	0,9068	0,9080	0,9092	0,9103	0,9115	0,9127	0,9139	0,9151	0,9162	0,9174	0,9186
33	0,9015	0,9027	0,9038	0,9050	0,9062	0,9074	0,9085	0,9096	0,9109	0,9121	0,9132	0,9144	0,9156
34	0,8986	0,8997	0,9009	0,9021	0,9032	0,9044	0,9056	0,9067	0,9079	0,9091	0,9103	0,9114	0,9126
35	0,8956	0,8968	0,8980	0,8991	0,9003	0,9015	0,9026	0,9038	0,9050	0,9062	0,9073	0,9085	0,9096

nach dem Gebrauch in ein sauberes Wasserbad legt und nach der Beendigung der Bestimmung sofort säubert.

Die Herstellung der Saponinlösung bedingt vorschriftsmäßige Genauigkeit. Die Entgasung der Lösung läßt sich durch häufige Herstellung von kleinen Quantitäten oder mit der Wasserstrahlpumpe vollziehen.

Die Haemolyse der Blutprobe wird durch Verwendung von guter, vorschriftsmäßig hergestellter Saponinlösung und nicht lange aufbewahrttem Blut leicht erreicht. Eine Verspätung der Haemolyse habe ich bei denjenigen Blutproben beobachtet, die für zwei bis drei Stunden im Kühlschrank aufbewahrt wurden.

Bei Aufbewahrung der Blutprobe sinken die Blutkörperchen zum Boden des Gefäßes, so daß sich das Serum von der klaren charakteristischen Farbe des Paraffins als klare gelbliche Flüssigkeit unterscheidet. In solchen Fällen habe ich vor der Blutentnahme das Blut mit einem etwa 10 cm langen, stricknadeldicken Metallstab, der ein etwa 0,3 cm breites und etwa 1 cm langes flaches Ende hat, vorsichtig durchgemischt. Dieser Metallstab wurde zwischen dem linken Daumen und Zeigefinger an der Öffnung des Fläschchens fixiert und sein freies Ende vorsichtig mit der rechten Hand langsam bewegt.

Bei dem HALDANE-COURTICE-DOUGLAS-Gerät ist der Hb-Gehalt des jeweils zu untersuchenden Blutes dann feststellbar, nachdem das O₂-Kapazitätsvolumen% ermittelt worden ist, da ja 1 g Hb 1,34 ccm O₂ bindet. Für die Ermittlung des O₂-Volumen% ist zuerst der Sättigungsdefizitwert notwendig. Ist das O₂-Kapazitätsvolumen% und das O₂-Volumen% bekannt, so läßt sich jetzt auch das O₂-Sättigung% feststellen.

Die Reaktionskölbchen wurden jedesmal nach dem Gebrauch mit warmem Wasser gut gewaschen und getrocknet. Um die Kölbchen schnell zu trocknen, kann man sie mit einem auf einer kleinen Klemme gewickelten sauberen Gazestreifen abwischen und auf einer sauberen Platte an einen warmen Platz für 10 bis 15 Minuten stellen. Bevor man die Reaktionskölbchen in dem Gerät an ihrem Platz befestigt hat, wird man jeweils zuerst die Saponin-Kaliumferricyanidlösung in die Seitenarme mit gebogener Pipette pipettieren. Es folgt dann im Kölbchen die Pipettierung der Borat-Pufferlösung und anschließend die Befestigung der beiden Kölbchen mittels Gummibändchen im Apparat. Die Manipulation braucht eine gewisse Übung und bedarf großer Geduld, denn bei kleinen Fehlern kann ein Kölbchen samt Inhalt ins Wasserbad gleiten und eine Trübung des Wassers sowie Beeinträchtigung der Genauigkeit der Bestimmung verursachen.

Nach der Ausgleichung der Temperatur des Kölbcheninhalts mit dem des Wasserbades werden die beiden Kölbchen vorsichtig herausgefahren und ihre Stopfen entfernt.

Bei der Blutentnahme mit der OSTWALDschen Pipette aus dem paraffinhaltigen Fläschchen muß man das andere Ende der Pipette mit der Fingerkuppe abschließen, damit kein Paraffin in die Pipette dringt. Nach der Herausnahme der Pipette aus dem Fläschchen und vor der Unterschichtung hat man das Paraffin und eventuell die Blutreste aus der Oberfläche der Pipette mit einem sauberen Gazestreifen zu entfernen. Nach vorsichtiger strenger Unterschichtung des Blutes in den Reaktionskölbchen müssen jetzt die Stopfen wieder mit einem Gummibändchen an den Kölbchen befestigt und mit den Kölbchen ins Wasserbad eingefahren werden.

Die Schwierigkeit dabei ist, daß das Blut während dieser Geschehnisse streng unterschichtet bleiben muß und der Inhalt der Seitenarme überhaupt nicht mit dem der Kölbchen in Berührung kommen darf.

Die Verminderung dieser verschiedenen Schwierigkeiten läßt sich durch lange geduldige und gezielte Übungen erreichen.

Um die Luftblasen beim Füllen des Gerätes mit der Choleinlösung gut sehen zu können, nimmt man am besten die Gummischläuche aus durchsichtigem Polyäthylen. Diese Schläuche sind etwas hart und lassen sich zwischen den Fingern zum Ausstreichen der Luftblasen nicht drücken. Sie sind aber widerstandsfähig und werden im Wasser nicht schnell beschädigt.

Die Dreiwegehähne sowie die Stopfen müssen von Zeit zu Zeit gut gesäubert und mit geeignetem Hahnenfett eingefettet werden. Das Wasser der beiden Becken wurde für den Zweck dieser Arbeit routinemäßig jeden Monat gewechselt und die Becken wurden gewaschen.

III. Die Geräte

1. Atlas Universal Oxymeter EM 45a

Die Apparatur besteht aus Photoelement, Küvettenhalter, Interferenzfilterhalter und Wolframfadenlampe (220 Volt, 25 Watt) mit Reflektor und Kondensor-Linsensystem. Der Kondensor ist durch den Gebrauch von Interferenzfiltern notwendig geworden, da diese Filter annähernd paralleles Licht voraussetzen. Die vom Photoelement erzeugte Spannung wird auf den Röhrenverstärker übertragen, der vom 220-Volt-Wechselstromnetz über einen Spannungsstabilisator gespeist wird. Die beiden Filter sind nebeneinander auf einem gemeinsamen Schlitten montiert und können so durch Verschieben des Schlittens wahlweise in den Lichtweg gebracht werden. Am Schlitten ist ein elektrischer Umschalter angebracht, der beim Filterwechsel die Verschiedenheiten der Photoelementspannungen durch Änderung des Shunts für das Ablesegalvanometer auszugleichen ermöglicht. Die Meßküvetten sind wie die Filter auf einem Schlitten plaziert, der es erlaubt, zwei Küvetten schnell nacheinander in den Lichtweg zu bringen.

2. Das Gerät nach HALDANE-COURTICE-DOUGLAS

Es besteht aus zwei gleichen Seiten. In der Mitte des Gerätes ist ein mit zwei gleichtätigen Schüttelarmen versehener Elektromotor montiert.

Der Schüttelmechanismus dient zum Schütteln der Reaktionskölbchen. Die folgenden Bestandteile jeder Seite des Gerätes sind im Wasserbad untergebracht:

Zwei Reaktionskölbchen (Volumen etwa je 35 cm³) haben je einen Seitenarm. Jedes Kölbchen ist durch einen Gummischlauch (je 24 cm lang) an einer Meßbürette angeschlossen. Das obere Ende der Meßbürette ist durch Dreiweghahn mit einem Schenkel des U-Rohres und ihr unteres Ende durch einen Gummischlauch (40 cm lang) mit einem Nivellerröhrchen verbunden.

Zwei Kompensationsgefäße dienen als Thermobarometer. Jedes Gefäß steht mit einem des anderen Schenkels des U-Rohres durch einen Dreiweghahn in Verbindung. Jedes U-Rohr ist in seiner Mitte durch einen Gummischlauch mit einem Nivellerröhrchen verbunden. Die Dreiweghähne dienen zur Verbindung der Anordnung des Gerätes mit der Außenwelt und zur Abschließung von der Außenwelt. Die Meßbüretten sind von 0,0 mm³ bis 10,0 mm³ geeicht. Die Gummischläuche haben ein Lumen von 3 mm Durchmesser. Jedes Wasserbecken ist mit einem Thermometer versehen.

IV. Beschreibung der Ergebnisse

In nachstehenden Tabellen werden die Untersuchungsergebnisse von 52 Patienten aufgezeigt. Die Tabellen beginnen mit dem niederen Hb-Wert (8,0 g%) und schließen mit dem höheren Hb-Wert (20,0 g%). In diesen Bereichen, also zwischen 8 g% und 20 g% Hb, habe ich die verschiedenen O₂-Werte arteriell und venös ermittelt und die jeweiligen Differenzen der verschiedenen Werte beider Geräte aufgezeichnet. Die A-V O₂-Differenzen bei jedem der Geräte habe ich in Vol.% und in %, d. h. die Differenz des Sättigungs%, zum Ausdruck gebracht.

Es hat sich bei der Durchführung dieser Arbeit gezeigt, daß bei den meisten Fällen für gleiche Blutgruppen die Werte beider Geräte differieren. Wenn wir die Hb-Werte in den Tabellen betrachten, so fällt zunächst auf, daß das Atlas-Gerät zumeist höhere Werte als das Haldane-Gerät gezeigt hat. (Bei 57,69 % der untersuchten Fälle). Auch bei der Betrachtung der O₂-Vol.-%-Werte von arteriellem Blut zeigen sich im allgemeinen bei dem Atlas-Gerät höhere Ergebnisse. Bei der Gegenüberstellung der Meßergebnisse beider Apparaturen ergeben sich beim Atlas-Gerät bei insgesamt 57,69 % der Fälle höhere Wertziffern. Sehr interessant sind die O₂-Sättigungs-%-Werte des arteriellen Blutes. Beim Atlas-Gerät liegen sie in 50 % der Fälle höher als beim Haldane-Gerät.

Das venöse Blut hat ebenfalls beim Atlas-Gerät höhere O₂-Vol.-%-Werte. Bei den untersuchten Fällen betragen sie gleichfalls 57,69 %. Für das venöse Blut liegen hingegen die O₂-Sättigungs-%-Werte diesmal um 42,30 % niedriger als die des Haldane-Gerätes.

Betrachten wir den Fall 32, so finden wir einen gleichgroßen Hb-Wert bei beiden Geräten (14 g%); jedoch beim Atlas-Gerät einen höheren Wert des O₂-Vol.-% (0,03 % arteriell und 0,3 % venös). Der O₂-Sättigungs-%-Wert für arterielles Blut liegt beim Atlas-Gerät hingegen um 0,7 % niedriger und für venöses Blut um 0,6 % höher.

Bei Fall 35, der auch bei beiden Geräten einen Hb-Wert von 14 g% zeigt, liegen die Verhältnisse anders, indem das O₂-Vol.-% beim Atlas-Gerät um 0,1 Vol.%, das Sättigungs-% um 0,6 % des arteriellen Blutes und das O₂-Vol.-% um 0,34 % sowie das O₂-Sättigungs-% um 0,5 % des venösen Blutes niedriger liegt als beim Haldane-Gerät.

Der Fall 44 hat auch den gleichen Hb-Wert (14,5 %) bei beiden Geräten. Hier ist das O₂-Vol.-% um 0,3 % und das O₂-Sättigungs-% um 0,7 % für arterielles Blut und für venöses Blut um 0,5 % niedriger. Allein das venöse O₂-Vol.-% ist beim Atlas-Gerät um 0,11 % höher.

Nr.	Name	Hb.				Arteriell				Venös				A-V O ₂ -Differenz	
		Atlas		Diff.		Atlas		Hald.		Diff.		Atlas		Hald.	
		gr ^o / _o	gr ^o / _o	gr ^o / _o	gr ^o / _o	Vol. ^o / _o	Vol. ^o / _o	Vol. ^o / _o	Vol. ^o / _o	Vol. ^o / _o	Vol. ^o / _o	Vol. ^o / _o	Vol. ^o / _o	Vol. ^o / _o	Vol. ^o / _o
1	Brehm 41	8,0 50,0	7,75 48,43	0,25 1,57		9,5 89,0	9,15 88,2	0,35 0,8		4,8 40,0	4,1 40,0	0,7 0,0		4,7 49,0	5,05 48,2
2	Lorenz 48	8,0 50,0	8,2 51,25	0,2 1,25		9,7 89,0	9,66 88,0	0,04 1,0		4,3 40,0	4,29 39,1	0,01 0,9		5,4 49,0	5,37 48,9
3	Käs 44	9,8 61,25	9,94 62,12	0,14 0,87		12,0 92,0	12,5 93,77	0,5 1,77		4,0 30,0	4,63 32,0	0,63 2,0		8,0 62,0	7,87 61,77
4	Interkauf 47	9,8 61,25	9,5 59,37	0,3 1,88		12,0 92,0	11,52 90,5	0,48 1,5		7,0 55,0	6,69 52,60	0,31 2,40		5,0 37,0	4,83 37,9
5	Landherr 37	10,0 62,5	9,8 61,47	0,2 1,03		12,0 92,0	12,01 91,5	0,01 0,5		3,0 23,0	2,99 22,8	0,01 0,2		9,0 69,0	9,02 68,7
6	Eberlein 46	10,0 62,5	9,6 60,0	0,4 2,5		12,0 90,0	11,32 88,0	0,68 2,0		5,0 39,0	4,88 38,0	0,12 1,0		7,0 51,0	6,44 50,0
7	Barth 74	10,0 62,5	9,7 60,62	0,3 1,88		12,0 90,0	11,43 88,0	0,57 2,0		6,0 42,0	5,19 40,0	0,81 2,0		6,0 48,0	6,24 48,0
8	Krebs 64	10,0 62,5	10,82 67,62	0,82 5,12		11,2 85,0	11,74 81,07	0,54 3,93		7,2 55,0	8,69 60,0	1,49 5,0		4,0 30,0	3,05 21,07
9	Döll 57	10,0 62,5	10,3 64,37	0,3 1,87		12,4 93,0	12,79 92,7	0,39 0,30		6,5 49,0	6,9 50,0	0,4 1,0		5,9 44,0	5,89 42,7
10	Götzelmann 58	10,5 65,0	10,7 66,0	0,2 1,0		12,8 89,0	12,64 88,14	0,16 0,86		5,0 38,0	5,44 37,93	0,44 0,07		7,8 51,0	7,20 51,21
11	Düchs 42	10,5 65,0	10,0 62,5	0,5 2,5		13,5 96,0	12,81 95,6	0,69 0,40		8,4 60,0	8,04 60,0	0,36 0,0		5,1 36,0	4,77 35,6

12	Beckert 48	♀	10,7 67,0	10,6 66,25	0,1 0,75	13,0 90,0	12,84 90,05	0,16 0,5	7,4 51,0	7,28 51,3	0,12 0,3	5,6 39,2	5,56 39,2
13	Kiefer 49	♀	11,0 68,7	11,2 70,0	0,2 1,3	13,1 89,0	13,29 88,6	0,19 0,4	7,5 51,0	7,8 52,0	0,3 1,0	5,6 38,0	5,49 36,6
14	Tögel 55	♂	11,0 68,7	10,8 67,5	0,2 1,2	14,3 97,0	13,89 96,0	0,41 1,0	8,0 53,0	7,38 51,0	0,62 2,0	6,3 44,0	6,51 45,0
15	Preis 23	♀	11,0 68,75	10,82 67,62	0,18 1,13	13,5 91,0	13,04 90,0	0,46 1,0	8,0 52,0	7,15 48,0	0,85 4,0	5,5 29,0	5,19 42,0
16	Hanusch 58	♀	11,0 68,75	10,4 65,0	0,6 3,75	13,6 92,0	12,57 90,2	1,03 1,8	9,0 60,0	8,35 60,0	0,65 0,0	4,6 32,0	4,22 30,2
17	Hennig 31	♀	11,0 68,75	10,81 67,56	0,19 1,19	13,6 92,0	13,18 91,0	0,42 1,0	10,2 70,0	9,87 68,2	0,33 1,8	3,4 22,0	3,31 22,8
18	Reinmann 32	♀	11,0 68,75	11,15 69,68	0,15 0,93	13,8 93,0	13,26 88,75	0,54 4,25	6,0 40,0	6,84 45,77	0,84 5,77	7,8 53,0	6,42 42,98
19	Sammet 58	♂	11,2 70,0	11,0 68,75	0,2 1,25	13,6 90,0	13,29 90,2	0,31 0,2	8,4 55,0	8,04 54,6	0,36 0,4	5,2 35,0	5,25 35,6
20	Kolbert 46	♂	11,3 70,0	10,7 67,0	0,6 3,0	13,8 91,0	13,09 91,28	0,71 0,28	7,9 50,6	7,33 51,0	0,57 0,4	5,9 40,4	5,76 40,28
21	Kunz 21	♂	12,0 74,0	11,64 72,0	0,36 2,0	15,0 93,0	14,67 93,5	0,33 0,5	9,8 60,0	9,93 63,28	0,13 3,28	5,2 33,0	4,74 30,22
22	Wehner 34	♂	13,0 81,25	12,5 78,12	0,5 3,13	15,0 90,0	15,0 89,6	0,0 0,4	10,6 61,0	10,2 61,3	0,4 0,3	4,4 29,0	4,8 28,3
23	Götz 51	♂	13,4 83,75	13,7 85,62	0,3 1,87	16,0 90,0	16,66 92,8	0,66 0,8	10,4 58,0	11,17 58,7	0,77 0,7	5,6 32,0	5,49 32,1
24	Stark 18	♀	13,5 84,37	13,3 83,12	0,2 1,25	17,4 96,2	17,10 96,0	0,30 0,20	11,0 66,2	11,88 66,7	0,88 0,5	6,4 30,0	5,22 29,3
25	Vetter 18	♀	13,5 84,37	13,3 83,12	0,2 1,25	17,0 94,0	16,96 93,70	0,04 0,3	14,2 79,0	14,0 78,72	0,2 0,28	2,8 15,0	2,96 14,98
26	Schreck 39	♂	13,7 85,62	13,8 86,25	0,1 0,63	17,4 96,0	17,67 95,6	0,27 0,4	13,0 70,0	12,8 69,4	0,2 0,6	4,4 26,0	4,87 26,2

Nr.	Name	Hb.			Arteriell			Venös			A-V O ₂ -Differenz	
		Atlas	Hald.	Diff.	Atlas	Hald.	Diff.	Atlas	Hald.	Diff.	Atlas	Haldane
		gr ⁰ /o o/o	gr ⁰ /o o/o	gr ⁰ /o o/o	Vol. ⁰ /o o/o	Vol. ⁰ /o o/o	Vol. ⁰ /o o/o	Vol. ⁰ /o o/o	Vol. ⁰ /o o/o	Vol. ⁰ /o o/o	Vol. ⁰ /o o/o	Vol. ⁰ /o o/o
27	Röder 33	13,8 86,25	13,2 82,50	0,6 3,75	16,4 89,0	16,6 88,7	0,2 0,3	10,0 57,0	10,18 57,6	0,18 0,6	6,4 32,0	6,42 31,1
28	Hart 19	13,8 86,25	14,0 87,50	0,2 1,25	17,8 96,0	18,0 96,4	0,2 0,4	13,0 70,0	13,07 69,7	0,07 0,3	4,8 26,0	5,73 26,7
29	Dickhans 46.	13,9 86,87	13,6 85,0	0,3 1,87	17,0 92,0	16,25 92,5	0,75 0,5	12,6 68,0	12,29 67,45	0,31 0,55	4,4 24,0	3,96 25,05
30	Bausewein 56	13,9 86,87	14,0 87,50	0,1 0,63	18,0 97,0	18,0 96,5	0,0 0,5	11,5 62,0	11,64 62,1	0,14 0,1	6,5 35,0	6,36 34,4
31	Otto 39	14,0 87,50	13,9 86,87	0,1 0,63	17,2 92,0	17,05 91,32	0,15 0,68	11,0 60,0	11,25 60,31	0,25 0,31	6,2 32,0	5,80 31,01
32	Schmähling 55	14,0 87,50	14,0 87,50	0,0 0,0	18,0 95,0	17,97 95,7	0,03 0,7	12,0 63,0	11,7 62,4	0,3 0,6	6,0 32,0	6,27 33,3
33	Mertins 23	14,0 87,50	13,8 86,25	0,2 1,25	17,5 94,0	17,4 94,5	0,1 0,5	11,0 59,0	11,05 59,8	0,05 0,8	6,5 35,0	6,35 34,7
34	Göb 52	14,0 87,50	14,2 88,75	0,2 1,25	17,8 95,0	18,1 95,2	0,3 0,2	11,4 61,3	11,78 62,0	0,38 0,7	6,2 33,7	6,32 33,2
35	Kraus 35	14,0 87,50	14,0 87,50	0,0 0,0	18,2 97,0	18,3 97,6	0,1 0,6	11,0 60,0	11,34 60,5	0,34 0,5	7,2 37,0	6,96 37,1
36	Prager 60	14,0 87,50	13,8 86,25	0,2 1,25	17,7 94,5	17,5 95,0	0,2 0,5	12,2 65,0	11,98 64,8	0,22 0,2	5,5 29,5	5,52 30,2
37	Schneider 60	14,0 87,50	14,1 88,12	0,1 0,62	18,0 96,0	18,17 96,2	0,17 0,2	11,5 62,0	11,67 61,8	0,17 0,2	6,5 34,0	6,50 34,4

38	Scharf	♂	14,0	14,2	0,2	17,9	18,12	0,22	11,1	11,43	0,33	6,8	6,79
50			87,50	88,75	1,25	95,0	95,4	0,4	60,0	60,2	0,2	35,0	35,4
39	Haas	♀	14,2	14,5	0,3	17,0	17,2	0,2	11,3	11,6	0,3	5,7	5,6
29			88,75	90,62	1,87	88,0	88,8	0,8	60,0	59,7	0,3	28,0	29,1
40	Graf	♀	14,2	13,8	0,4	17,9	17,43	0,47	11,8	11,53	0,27	6,1	5,90
35			88,75	86,25	2,50	94,0	94,3	0,3	62,5	62,4	0,1	31,5	31,9
41	Schmitt	♀	14,5	14,6	0,1	18,0	18,15	0,15	12,9	12,83	0,07	5,1	5,32
53			90,62	91,25	0,63	92,0	92,8	0,8	65,0	65,6	0,6	27,0	27,2
42	Sachs	♂	14,5	14,1	0,4	17,5	17,07	0,43	11,7	11,33	0,37	5,8	5,74
17			90,62	88,12	2,50	90,0	90,4	0,4	60,0	60,0	0,0	30,0	30,0
43	Meusel	♂	14,5	14,1	0,4	18,0	17,76	0,24	11,5	11,43	0,07	6,5	6,33
32			90,62	88,12	2,50	93,5	94,0	0,5	60,0	60,8	0,8	33,5	33,2
44	Kess	♀	14,5	14,5	0,0	18,2	18,5	0,3	13,8	13,69	0,11	4,4	4,81
24			90,62	90,62	0,0	95,0	95,7	0,7	70,0	70,5	0,5	25,0	25,2
45	Manietta	♂	14,5	14,4	0,1	18,2	18,39	0,19	11,5	11,53	0,03	6,7	6,86
33			90,62	90,00	0,62	96,0	95,81	0,19	60,0	60,1	0,1	36,0	35,71
46	Stumm	♀	14,9	15,0	0,1	18,7	18,85	0,15	12,0	11,89	0,11	6,7	6,96
52			93,12	93,75	0,63	93,4	93,8	0,4	60,0	59,2	0,8	33,4	34,6
47	Issing	♂	15,0	14,7	0,3	19,0	19,1	0,1	13,5	13,02	0,48	5,5	6,08
17			93,75	91,87	1,88	97,0	97,41	0,41	68,0	67,5	0,5	29,0	29,91
48	Rückert	♀	93,75	92,50	1,25	19,2	18,95	0,25	13,1	12,94	0,16	6,1	6,01
33			15,0	14,8	0,2	96,0	95,7	0,3	65,0	65,3	0,3	31,0	30,4
49	Schwarz	♀	93,75	95,00	1,25	17,1	17,47	0,37	11,8	12,01	0,21	5,3	5,36
40			15,0	15,2	0,2	85,2	85,8	0,6	58,4	59,0	0,6	26,8	26,8
50	Edelheit	♀	15,2	15,6	0,4	19,0	18,19	0,81	11,0	11,48	0,48	8,0	6,71
48			95,00	97,50	2,50	92,0	91,45	0,55	58,0	57,7	0,3	34,0	33,75
51	Skarke	♂	15,7	15,3	0,4	19,2	18,98	0,22	12,5	12,34	0,16	6,7	6,64
28			98,12	95,62	2,50	92,0	92,6	0,6	60,0	60,2	0,2	32,0	32,4
52.	Vornwald	♀	20,0	19,3	0,7	25,0	24,63	0,37	17,0	16,86	0,14	8,0	7,77
66			125,00	120,62	4,38	95,0	95,28	0,28	65,0	65,2	0,2	30,0	30,08

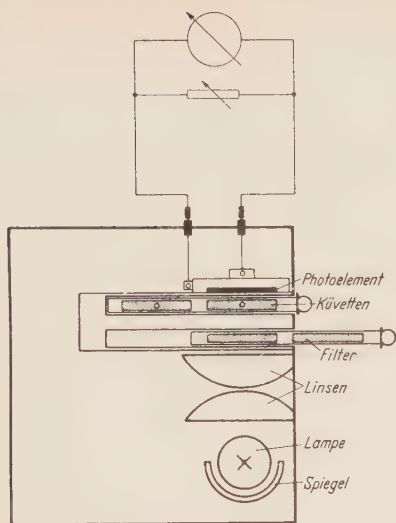
Im Bereiche der Hb-Werte von 0,8 g% bis 11,0 g% liegen beim Atlas-Gerät die arteriellen Werte des O₂-Vol.% um 61,53 % und die des O₂-Sättigung% um 84,61 % höher. Die Werte des O₂-Vol.% des venösen Blutes liegen beim Atlas-Gerät um 61,53 % höher; demgegenüber ist das O₂-Sättigung% bei der Haldaneschen Messung um 46,15 % höher. Im Bereiche der normalen Hb-Werte werden beim Atlas-Gerät sämtliche arteriellen O₂-Werte und das venöse O₂-Vol.% der gleichen Blutprobe immer höher liegen als die gleichen Werte des Haldane-Gerätes. Nur das venöse O₂-Sättigung% bleibt niedriger. Steigt der Haemoglobingehalt der Blutproben noch höher, so klettern die arteriellen O₂-Werte und das venöse O₂-Vol.% mäßig an. Die O₂-Werte des arteriellen und des venösen Blutes erhöhen sich jetzt auch beim Haldane-Gerät, so daß sich die Wertdifferenzen der beiden Geräte verringern.

Die Differenz der verschiedenen Hb-Werte für dieselben Blutproben in den beiden Geräten beträgt im allgemeinen durchschnittlich 0,26 g%.

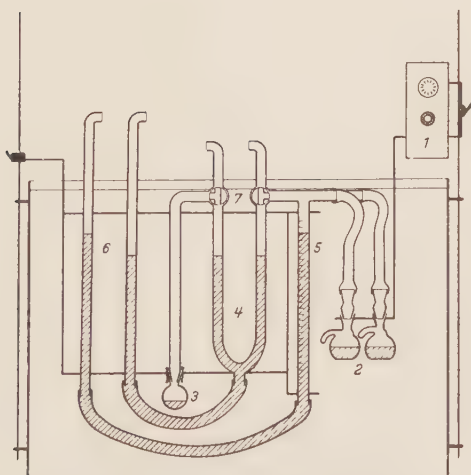
Es wurde schon früher darauf hingewiesen, daß beim Atlas-Gerät für sämtliche O₂-Bestimmungen der Hb-Wert zuerst ermittelt werden muß. Infolgedessen sind diese O₂-Werte von der Genauigkeit der Bestimmung des Hb-Wertes abhängig. Dagegen resultiert der Hb-Wert beim Haldane-Gerät aus der genauen Bestimmung des O₂-Kapazitätvolumen% des Blutes. Diese Verschiedenheit in der grundsätzlichen Bestimmung des O₂-Gehaltes des Blutes in beiden Geräten ist im allgemeinen die Ursache der Abweichung der gleichnamigen Werte in derselben Blutprobe.

Eine exakte Bestimmung beim Atlas-Gerät erfordert die Beachtung folgender Richtlinien:

1. Der Apparat muß vor der Benützung etwa 30 Minuten eingeschaltet werden.
2. Der Apparat muß technisch einwandfrei sein.
3. Das Blut ist von nüchternen Personen zu entnehmen. Blutentnahmen nach fettreichen Mahlzeiten sind für die Bestimmung nahezu unbrauchbar und infolgedessen eine Bestimmung bei lipaemischem Blut zwecklos.
4. Es darf kein Blut für längere Zeit aufbewahrt werden, da es seinen O₂ durch eigene Degeneration verbraucht.
5. Die Blutproben müssen streng luftleer entnommen werden.
6. Jede Sonnenbestrahlung sowie Verdunstung und Verdickung der Blutproben ist zu vermeiden.
7. Genaue Pipettierung ist erforderlich.



Aufbau des optischen Teiles des Filterphotometers



Schema des modifizierten HALDANE-BARCROFT-Apparates für die Bestimmung der Sauerstoffkapazität und -sättigung. 1 Schütteleinrichtung mit Elektromotor. 2 Schüttelgefäße für Pufferlösung und Blutprobe mit Seitenarm, aus dem beim Kippen Ferricyanid-Saponinlösung zum Blut-Puffer-Gemisch fließt. 3 Thermo-barometer. 4 U-Rohr. 5 Meßbürette. 6 Nivelliergefäße zum Einstellen der Spiegel. 7 Dreiweghähne. Das Einstellen der Spiegel erfolgt bei Öffnen gegen Außenluft, beim Schütteln und Ablesen ist das System gegen die Außenluft geschlossen. Der ganze Apparat befindet sich bis zu den Hähnen im Wasserbad, dessen Temperatur kontrolliert wird.

8. Es sind nur vorschriftsmäßig hergestellte und gut entgaste Saponinlösungen zu verwenden.
9. Die Benetzung der Nadel mit Paraffin beeinträchtigt die Bestimmung; eine solche Nadel ist gegen eine saubere auszuwechseln.
10. Methaemoglobinhaltiges Blut eignet sich nicht zur genauen Bestimmung. Es täuscht eine zu große Maximalkapazität vor.
11. Der Haemoglobin-Wert muß immer mit arteriellem Blut ermittelt werden. Messungen mit ausschließlich venösem Blut sind ungenau. Ich habe immer und bei jeder venösen Blutprobe den Hb-Wert ermittelt, jedoch hat dieser gegenüber dem mit arteriellem Blut ermittelten Wert große Differenzen gezeigt, so daß seine Verwendung ungeeignet war.

b) Haldane-Gerät:

1. Die luftleere Füllung des Gerätes mit Choleinlösung muß streng eingehalten werden. Jede kleinste Luftblase verursacht eine Ungenauigkeit der Bestimmung.
2. Alle Lösungen müssen sehr genau hergestellt sein.
3. Für jede Lösung muß eine eigene Pipette verwendet und jede Verunreinigung vermieden werden.
4. Die Temperatur des Wasserbades muß bei jeder Ablesung des Meniskus vermerkt sein.
5. Das Gerät muß sich in einem Raum mit nicht mehr als 22° C Zimmertemperatur befinden. Bei höheren Temperaturen verlieren die Dreiweghähne ihr Fett.
6. Die waagrechte Stellung des Gerätes ist dringend erforderlich.
7. Es ist darauf zu achten, daß beim Einfahren der Reaktionsgefäße mit den Blutproben die Unterschichtung des Blutes nicht gestört wird.
8. Während des Schüttelns und vor der Ermittlung des WI darf der Inhalt des Seitenarmes mit dem des Kölbchens niemals in Berührung kommen.
9. Die Gerätsysteme dürfen bei nicht im Gebrauch befindlichen Geräten nicht offen bleiben, um die Verdunstung der Choleinlösung zu vermeiden. Die Choleinlösung wird von Zeit zu Zeit ergänzt und die vorschriftsmäßige Höhe wieder hergestellt.
10. Ein Thermometer ist zur Ermittlung der Wasserbadtemperatur erforderlich. Vorteilhafter erzeigt sich die Verwendung der Thermostaten.

ZUSAMMENFASSENDE BESPRECHUNG

Es wurden für die vorliegende Arbeit Blutsauerstoffbestimmungen an 52 Patienten durchgeführt, deren Haemoglobinspiegel zwischen 8 g% und 20 g% lag. Von jedem Patienten wurde die Sauerstoffsättigung im ungestauten venösen Blut (vena bas. media eines Armes, oder mittels Herzkatheterismus: vena cava superior), sowie im arteriellen Blut (Punktion der Art. femoralis) untersucht.

Die Untersuchungen wurden bei jedem Patienten mit Hilfe der

1. Spektrophotometrischen Methode (Atlas-Universal-Oxymeter), sowie der
 2. gasanalytischen Methode (Haldanescher Apparat)
- in je Doppelbestimmungen ausgeführt.

Dabei konnte festgestellt werden, daß bei der spektrophotometrischen Methode die größte Fehlerbreite im hohen Hb-Bereich liegt (etwa ab 14,5 g%). Es war fast unmöglich, eine Polycythaemieprobe (20,0 g% Hb) zu bestimmen. Die Fehlerbreite betrug in diesem Bereich etwa $\pm 0,4$ Vol. %.

In normalen Hb-Bereichen liegt bei dieser Methode die Fehlerbreite bei $\pm 0,3$ Vol. %. Im Hb-Bereich zwischen 8,0 g% und 10,0 g% liegt die mittlere Fehlerbreite um $\pm 0,2$ Vol. %.

Diese Schwankungen der Fehlerbreite in den verschiedenen Hb-Bereichen erhöhen die Unexaktheit der Methode stark. Jedoch in Anbetracht der verhältnismäßig leichten Handhabung des Gerätes, sowie der schnellen Durchführbarkeit der Untersuchungen kommt diese Methode dennoch für die klinische Routine-Untersuchung in erster Linie in Frage.

Die gasanalytische Methode hingegen zeigt in den verschiedenen Hb-Bereichen (8,0 g% bis 20,0 g%) eine nahezu einheitliche Fehlerbreite auf ($\pm 0,2$ Vol. %). Die hierdurch gegebene wesentlich größere Exaktheit der Methode erscheint uns insbesondere für wissenschaftliche Forschungsarbeiten unerlässlich. Jedoch muß darauf hingewiesen werden, daß die praktische Durchführung der Methode peinlichste Genauigkeit und langwierige Vorübungen in experimentellen Arbeiten erfordern. Dazu kommt der wesentlich größere Zeitaufwand für die Einzelbestimmung.

Dieses läßt die routinemäßige Verwendung der Methode mittels der Haldaneschen Apparatur für die klinischen Erfordernisse als sehr ungeeignet erscheinen.

Herrn Professor Dr. F r a n k e danke ich für die freundliche Überlassung des Themas.

Frau Dr. H o l l e danke ich für die wertvollen Ratschläge und die Hilfe, die sie mir während der Durchführung der Arbeit zuteil werden ließ.

L I T E R A T U R A N G A B E N :

- BAYER, O., LOOGEN, WOLTER: Der Herzkatheterismus bei angeborenen und erworbenen Herzfehlern.
Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1954.
- GÄRTNER, W.: Die diagnostische Bedeutung der Oxymetrie für die Beurteilung von Herz- und Kreislauferkrankungen.
Medizinische Klinik, Probeheft 53. Jahrgang, 28. März 1958.
- HOPPE-SEYLER: Handbuch der Physiolog.- und Pathto.-chemischen Analyse.
Bd. II, Springer Verlag 1955.
- MURALT, A. U.: Praktische Physiologie.
Springer Verlag 43.
- NILSSON, N. J.: Ein vereinfachtes Spektrophotometer zur Bestimmung des Hämoglobin- und Sauerstoffgehaltes im Blut.
Sonderabdruck aus Pflügers Archiv für die ges. Physiologie, Bd. 262, Heft 6, S. 595—615.
- RONA, O.: Praktikum der Physiologischen Chemie,
Bd. II, Berlin 1938.
- ROSSIER, P. H., BÜHLMANN, WIESINGER: Physiologie und Pathologie der Atmung.
Springer Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1956.
- VAN SLYKE, O.: Quantitative Chemistry.
London, 1932.
- WETZLER K. und BÜGER: Die Ergebnisse der Physiologie
„Die Dynamik des arteriellen Systems“
41. Bd. München, Verlag J. F. Bergmann, 1939.
- ZIJLSTRA, W. G.: Fundamentals and applications of clinical Oximetry.
van Gorcum-Assen-Netherlands 1953.

LEBENS LAUF

Am 24. 7. 1924 wurde ich in Samarra/Irak geboren. 1944 habe ich in Bagdad maturiert. Am Fine Arts Institute in Bagdad habe ich vier Jahre studiert und das Diplom der Kunstgeschichte 1948 erworben. Im Jahre 1949 war ich an der Medizinischen Fakultät der Universität Zürich immatrikuliert.

Mein medizinisches Studium habe ich im Jahre 1951 ohne Unterbrechung an der Medizinischen Fakultät der Universität Wien fortgesetzt. 1955 kam ich nach Deutschland und immatrikulierte an der Medizinischen Fakultät der Julius-Maximilians-Universität zu Würzburg.

Am 9. Januar 1959 habe ich die Ärztliche Prüfung mit Erfolg an der hiesigen Universität beendet.

Ich versichere ehrenwörtlich, daß ich die vorliegende Arbeit selbständig verfaßt und außer der angegebenen Literatur keine weiteren Hilfsquellen benutzt habe.

Ich versichere ehrenwörtlich, daß ich bisher von keiner anderen Seite ein Dissertationsthema zur endgültigen Bearbeitung erhalten habe.

Faisal Al-Naqib.

